http://alexir.org
https://t.me/ixirbook

دراسات علمية
سلسلة غير دورية تعنى بالإتجاهات العلمية الحديثة

مكتبة الإكسير الإلكترونية
Al-Exir Electronic Library

قرن الفيزياء

دكتور
على حلمى موسى

تصدرها :
المكتبة الأكاديمية

رئيس التحرير
أ. د. أحمد شوقى

مدير التحرير
أ. أحمد أمين

ISO 9002

المكتبة الأكاديمية

قـــرن الفيـزيــاء

دكتور

علي حلمي موسى

مكتبة الإكسير الإلكترونية
Al-Exir Electronic Library

الناشر

المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية

٢٠٠٥

http://alexir.org

https://www.facebook.com/ixirbook

https://t.me/ixirbook

حقوق النشر

الطبعة الأولى ٢٠٠٥م - ١٤٢٥هـ

حقوق الطبع والنشر © جميع الحقوق محفوظة للناشر :

المكتبـــة الأكاديميـــة

شركة مساهمة مصرية

رأس المال المصدر والمدفوع ١٨,٢٨٥,٠٠٠ جنيه مصرى

١٢١ شارع التحرير - الدقى - الجيزة

القاهرة - جمهورية مصر العربية

تليفون : ٧٤٨٥٢٨٢ - ٣٣٦٨٢٨٨ (٢٠٢)

فاكس : ٧٤٩١٨٩٠ (٢٠٢)

لا يجوز استنساخ أى جزء من هذا الكتاب بأى طريقـــة كانت إلا بعد الحصول على تصريح كتابى من الناشر .

حقوق النشر

الطبعة الأولى ٢٠٠٥م - ١٤٢٥هـ

حقوق الطبع والنشر © جميع الحقوق محفوظة للناشر :

المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية

رأس المال المصدر والمدفوع ١٨,٢٨٥,٠٠٠ جنيه مصرى

١٢١ شارع التحرير - الدقى - الجيزة

القاهرة - جمهورية مصر العربية

تليفون : ٧٤٨٥٢٨٢ - ٣٣٦٨٢٨٨ (٢٠٢)

فاكس : ٧٤٩١٨٩٠ (٢٠٢)

لا يجوز استنساخ أى جزء من هذا الكتاب بأى طريقة كانت إلا بعد الحصول على تصريح كتابى من الناشر .

هذه السلسلة

تعد استجابة منطقية لما لقيته شقيقتها الكبرى "كراسات مستقبلية" التى بدأ ظهور أعدادها الأولى عام ١٩٩٧، من الترحاب والتشجيع، المقرونين بالدعوة إلى زيادة مساحة العلم فى إصدارات السلسلة إلى أقصى حد ممكن.

لقد دفعتنا هذه الدعوة إلى التفكير فى أن نفرد للموضوعات العلمية سلسلة خاصة، تستحقها، فكانت هذه السلسلة، التى تمثل تطويرا وتوسعا فى أحد محاور "كراسات مستقبلية"، حيث ذكر فى مقدمتها ما نصه:

"الإلمام بمنجزات الثورة العلمية والتكنولوجية، التى تعد قوة الدفع الرئيسية فى تشكيل العالم، مع استيعاب تفاعلها مع الجديد فى العلوم الإجتماعية والإنسانية، من منطلق الإيمان بوحدة المعرفة".

ومن ملامح هذه السلسلة:

* المحافظة – على شكل المقال التفصيلى الطويل (Monograph) الذى تتميز به الكراسات عادة.

* الحرص على تقديم الاتجاهات والأفكار العلمية الجديدة، بجانب تقديم المعارف الخاصة بمختلف المجالات الحديثة، بشكل يسمح للقارئ "المتعلم غير المتخصص"، الذى يمثل القارئ المستهدف للكراسات، بالقدر الكافى من الإلمام والقدرة على المتابعة.

* وفى تقديمها للاتجاهات والمعارف العلمية الحديثة، لن تتبنى الكراسات الشكل النمطى لتبسيط العلوم، الذى يستهدف النجاح فى إضافة كمية –قلت أو كثرت– لبعض المعارف العلمية إلى ثقافة الملتقى. إننا لانتعامل هذا مع العلم كإضافة، ولكن كمكون عضوى أصيل للثقافة المعاصرة، وهو مكون ثرى، يتضمن المناهج والمعلومات والأفكار والاتجاهات.

* وتأكيدا لعدم النمطية، ستتسع السلسلة للتأليف والترجمة والعرض، وتتضمن اجتهادات التبسيط والاستشراف، وستنطلق من أهمية تضامن المعرفة والحكمة وارتباط العلم الحديث بالتكنولوجيا Technoscience، مع التركيز على أهمية ارتباطهما معا بالأخلاق.

وبعد، فإننى أتقدم بالشكر إلى كل الزملاء الذين تحمسوا للفكرة، وساهموا فى تقديم المادة العلمية للسلسلة. وباسمهم وباسمى أشكر الصديق العزيز الأستاذ أحمد أمين، الناشر المثقف الذى احتفى من قبل بسلسلة "كراسات مستقبلية"، وشجعنا على إصدار هذه السلسلة الجديدة. والله الموفق.

هذه الكراسة

تؤكد وصف القرن العشرين بقرن الفيزياء، فى مقابل وصف القرن التاسع عشر بقرن الكيمياء والميكانيكا، والقرن الحالى بقرن البيولوجيا، دون أن يعنى هذا التقسيم الإنفراد بأى حال من الأحوال. فالقرن التاسع عشر قدم لنا نظرية التطور، التى يرى دروبجانسكى أنها السبيل الوحيد لفهم البيولوجيا. كما أن قرن البيولوجيا الحالى لم يكن ممكنا دون تضافر الفيزياء والكيمياء مع البيولوجيا. والعبرة التى نستخلصها من ذلك أهمية "العلوم الأساسية" وما تقدمه من معارف جديدة تنبنى عليها التطبيقات التكنولوجية الحديثة كلها.

يقدم هذه الكراسة عالم جليل، هو الدكتور على حلمى موسى، أستاذ الفيزياء المتفرغ بجامعة عين شمس، الذى شارك فى هدوء وتواضع فى العديد من المشروعات العقدية، وقدم إسهامات علمية متنوعة فى كثير من المجالات، أذكر فيما بينها التعامل مع اللغة العربية والجذور الثلاثية غير المستخدمة بحثا عن مادة خصبة لصك المصطلحات الجديدة، مواكبة للتقدم العلمى المتسارع. إننا نفخر بإنضمامه إلى أسرتنا، وندعو له بالمزيد من العطاء.

د. أحمد شوقى

يناير ٢٠٠٥

المحتويات

المقدمة ---------- ٩
قرن الفيزياء ---------- ١١
ميكانيكا الكم ---------- ٢٠
الإشعاع الحرارى ---------- ٢١
التأثير الكهروضوئى ---------- ٢٢
زخم الأشعة وتأثير "كومبتون" ---------- ٢٣
الفوتونات والموجات الكهرومغناطيسية ---------- ٢٣
إشعاع التفريغ الكهربى ---------- ٢٥
النماذج الأولية للذرة ---------- ٢٦
نموذج "نيلز بور" الكمى للذرة ---------- ٢٧
نموذج "بور – ستونر" لبناء الذرات ---------- ٢٨
نظام "ولسون" و"زومرفيلد" الكمى ---------- ٢٩
نموذج "زومرفيلد" الذرى ---------- ٢٩
الخاصية الموجية للجسيمات ---------- ٣٠
مبدأ التكاملية "نيلزبور" ---------- ٣١
معادلة شرود نجر ---------- ٣٢
الجسيم فى الصندوق ---------- ٣٤
الجسيم فى بئر محدود العمق ---------- ٣٥
اختراق عائق من خلال نفق ---------- ٣٦
الميكروسكوب النفقى الماسح ---------- ٣٧
الأعداد الكمية ---------- ٣٨
قاعدة الاستثناء (ولفجانج باولى) ---------- ٣٩

مبدأ الارتياب (فيرنر هيزنبرج)---------------------------- ٤١
ميكانيكا الكم الجديدة ---------------------------------- ٤١
محاورات "هيزنبرج" و"أينشتين"---------------------------- ٤٢
العلاقة بين نظريتى "شرودنجر" و"هيزنبرج"---------------- ٤٤
محاورات "نيلزبور" و"هيزنبرج" -------------------------- ٤٥
التوصل إلى مبدأ الارتياب ------------------------------. ٤٦
برهان مبدأ الارتياب للموضع والزخم ----------------------. ٤٧
برهان مبدأ الارتياب للطاقة والزمن ------------------------ ٤٨
مناقشات مؤتمرات الفيزياء---------------------------- ٤٩
النظرية النسبية -------------------------------------- ٥٢
اسحق نيوتن والقوة الخامسة ------------------------------- ٥٨
جاليليو ومركز الكون ------------------------------------ ٦٤
المراجع -- ٦٨

المقدمة

علم الفيزياء هو ملك العلوم، لأن علم الفيزياء ليس علما منفردا، فهو وثيق الصلة بعلوم الرياضيات والكيمياء والبيولوجيا والجيولوجيا.

فعلم الفيزياء الرياضية يتناول عرض العلم بطريقة رياضية من خلال المعادلات الرياضية سواء الجبرية أو التفاضلية. وعلم الفيزياء الكيميائية يتناول العلاقة بين علمى الفيزياء والكيمياء وخاصة العلاقة بين الفيزياء الذرية والكيمياء الذرية. وعلم البيوفيزياء يفسر ما يحدث فى فروع البيولوجيا بطريقة فيزيائية. وعلم الجيوفيزياء يطبق النظريات الفيزيائية لتفسير ما يحدث فى مختلف طبقات الأرض. بالإضافة إلى التكنولوجيا التى تعتمد اعتمادا كبيرا على علم الفيزياء.

وكلمة فيزياء معناها باللاتينية العلوم الطبيعية، والفيزياء هو الجذر الذى ينمو منه الفيزياء التطبيقية والتكنولوجيا.

وينقسم علم الفيزياء إلى قسمين أساسيين: الفيزياء النظرية ويتضمن النظريات الفيزيائية فى فروع علم الفيزياء المختلفة (وهى الميكانيكا والحرارة والحركة الموجية والموجات الكهرومغنطيسية وفيزياء الجوامد والفيزياء النووية والبصريات والإلكترونيات بالإضافة إلى الفيزياء الجوية). وعلم الفيزياء التجريبية ويتضمن التجارب المختلفة التى تتم فى تلك الفروع.

وقد تقدم علم الفيزياء فى القرن العشرين تقدما هائلا، فقد حدثت قفزات علمية كبيرة فى هذا القرن، مما دعا إلى إطلاق اسم قرن الفيزياء عليه.

والهدف الأول من هذا الكتاب هو عرض ما تم فى هذا القرن بلغة علمية مبسطة للقارئ غير المتخصص.

والهدف الثانى هو وضع بعض هذه القفزات العلمية وصياغتها فـــى صـــورة تناسب القارئ غير المتخصص.

ومن أهم هذه القفزات "ميكانيكا الكم". فالمادة العلمية لعلم ميكانيكا الكم تعتمـد على فروع الرياضيات العالية، لذلك تم تبسيط هذه المادة وعرضـــها بـــدون الدخول فى المعادلات الرياضية والتفاضلية.

والقفزة الثانية هى "النظرية النسبية"، وهى وإن كانت مبادئها مصاغـــة بلغـــة عادية إلا أن تفاصيلها تعتمد أيضاً على معادلات جبرية. وتتمـــيز النظريـــة النسبية بإعتمادها على مبادئ فلسفية، مما دعا العلماء المعـــارضين لواضـــع النظرية إلى الدخول فى مناقشات طويلة معه.

ويتضمن الكتاب موضوعا يتعلق بنظرية الجذب العام للعالم "اســحق نيوتـــن" والذى عرف باسم "القوة الخامسة"، وما تم فيه من أبحاث وتجارب عديدة فـــى نهاية القرن، وانتهت إلى التحقق من صحة نظرية الجذب العام.

وأخيراً يحتوى الكتاب على قصة الصراع الذى عاناه العالم الفيزيائى الكبـــير "جاليليو".

قرن الفيزياء

ونحن نودع القرن العشرين نذكر التقدم الهائل الذى حققه علم الفيزياء فى هذا القرن والتأثير البالغ فى حياة الإنسان مما دعا عدد من المفكرين إطلاق اسم قرن الفيزياء عليه. وهذا المقال محاولة لتبسيط النظريات الفيزيائية الرئيسية التى ظهرت فى هذا القرن.

لقد بدأ هذا القرن بحصول عالم الفيزياء الألمانى "رونتجن" على جائزة نوبل عام ١٩٠١ لاكتشافه أشعة إكس ذات التطبيقات المتنوعة خاصة فى الطب والفيزياء وغيرهما.

وقبل بداية القرن اكتشف العلماء أن أى جسم يطلق إشعاعا حراريا يعتمد على مادة الجسم ودرجة حرارته، ولكنهم فشلوا فى صياغة العلاقة بين شدة الإشعاع الحرارى وطول موجته. وبحلول عام ١٩٠٠ توصل العالم الألمانى "ماكس بلانك" إلى تلك العلاقة وأدخل لأول مرة مفهوم "الكم"، واقترح قيما متقطعة للطاقة سميت فيما بعد الطاقة الكمية. ونتيجة لهذا الاكتشاف حصل "بلانك" على جائزة نوبل بعد اكتشافه بثمانية عشر عاما. وكان إنجاز "بلانك" بمثابة شهادة ميلاد الفيزياء غير التقليدية.

وفى العقد الأول من القرن لاحظ العلماء أن الضوء الساقط على بعض السطوح المعدنية يسبب انبعاثا للإلكترونيات من هذه السطوح وسميت ظاهرة التأثير الكهروضوئى، وتم تفسير هذه الظاهرة على يد العالم الألمانى "ألبرت أينشتين" عام ١٩٠٥ مستخدما المبدأ الذى وضعه "بلانك" للتكميم وطبقه على الموجات الكهرومغناطيسية ومنها الضوء، وأضاف مفهوما جديدا بأن الضوء يتكون من جسيمات دقيقة عديمة الكتلة تسمى الفوتونات وهى تتحرك بسرعات كبيرة ولها طاقة كما أن لها زخم.

وكان هذا اختراقا مفاهيميا غير مسبوق، إذ أنه من المعروف أن الزخم هو حاصل ضرب الكتلة فى السرعة، فكيف يكون للفوتون عديم الكتلة زخما؟ ولكن "أينشتين" اقترح صيغة لحساب هذا الزخم عن طريق طاقة أشعة الضوء. وفى عام ١٩٢١ نال "أينشتين" جائزة نوبل عن إنتاجه العلمى فى التأثير الكهروضوئى وليس عن نظريته النسبية الخاصة التى وضعها عام ١٩٠٥ أو النسبية العامة التى وضعها عام ١٩١٦.

وتعتمد النظرية النسبية الخاصة على فرضية أن سرعة الضوء فى الفراغ لها قيمة ثابتة مهما كانت سرعة مصدر الضوء، وبذا تعتبر سرعة الضوء هى إحدى ثوابت الكون (السرعة القصوى)، كما توصل "أينشتين" إلى أنه عند ملاحظة جسم متحرك فإن طوله فى اتجاه الحركة يبدو أقل من طوله وهو ساكن، كما أن كتلته تزداد أثناء الحركة عن قيمتها وهو ساكن. وتربط النظرية النسبية بين طاقة الجسيم وكتلته بالعلاقة الشهيرة وهى أن الطاقة تساوى حاصل ضرب الكتلة فى مربع سرعة الضوء.

وقبل بداية القرن العشرين قام العالم الإنجليزى "جوزيف طومسون" بقياس قيمة شحنة الإلكترون وعلاقتها بقيمة كتلته، ثم اقترح فى بداية القرن العشرين نموذجا للذرة عبارة عن كرة موجبة الشحنة تتواجد بداخلها الإلكترونات سالبة الشحنة مثلما تتواجد البذور داخل أى ثمرة، وحصل على جائزة نوبل عام ١٩٠٦ عن أعماله، ولكن سرعان ما ثبت فشل هذا النموذج حين أجرى العالم النيوزيلندى "إرنست رذرفورد" تجربة أطلق فيها حزمة من جسيمات ألفا موجبة الشحنة على شريحة معدنية رقيقة. فتعارضت نتيجة التجربة مع نموذج "طومسون". واستنتج "رذرفورد" أن الشحنة الموجبة فى الذرة تتركز فى منطقة صغيرة بالنسبة لحجم الذرة، وسمى هذا الجزء نواة الذرة. وأضاف أن إلكترونات الذرة تتحرك فى باقى حجم الذرة خارج النواة وهى لاتنجذب نحو النواة الموجبة لتحركها فى مسارات حولها بنفس طريقة حركة الكواكب حول الشمس، وحصل "رذرفورد" على جائزة نوبل عام ١٩٠٨.

ولكن هذا النموذج الكونى للذرة قوبل بصعوبة تفسير الإشعاعات التى تطلقها أى ذرة بترددات محددة، وقدم العالم الدانمركى "نيلزبور" فى عام ١٩١٣

تفسيرا لتلك الإشعاعات التى سميت الطيف الذرى ووضع نموذجا كميا لذرة الهيدروجين مستخدما نظرية الكم للعالم "بلانك" لشرح التركيب الذرى والطيف الذرى موضحا العلاقة بين مستويات الطاقة لإلكترون الذرة وتردد الضوء المنبعث من الذرة. ونال جائزة نوبل عام ١٩٢٢ عن هذا الإنجاز.

وفى عام ١٩٢٣ أجرى العالم الأمريكى "أرثر كومبتون" تجربة لدراسة تأثير سقوط أشعة إكس على هدف كربونى فتشتتت الإلكترونات من الهدف وانحرفت فى اتجاه وانحرفت فوتونات أشعة إكس فى إتجاه آخر مثلما يحدث عند تصادم كرتين من البليارد. وبتطبيق قانون حفظ الزخم أثبت "كومبتون" أن الأشعة لها زخم مثلها مثل الجسيمات المادية، وهو بذلك قد أكد على اقتراح "أينشتين" بإثبات أن الأشعة تسلك سلوك الأجسام المادية. وقد نال جائزة نوبل بعد ذلك بأربع سنوات.

وفى نفس العام ١٩٢٣ قدم العالم الفرنسى "لويس دى بروى" رسالته للحصول على الدكتوراه واقترح فيها أن الازدواج فى سلوك الأشعة ينطبق تماما على المادة، أى أن جميع الأجسام المادية لها خصائص الأشعة بالإضافة إلى خصائص الأجسام ووضع صيغة لطول الموجة المصاحبة للجسيم وصيغة أخرى لتردد هذه الموجة. وقد قوبلت هذه الفكرة الثورية بمعارضة شديدة من العلماء. وبعد هذه الضجة بثلاث سنوات تصادف أن قام العالمان "دافيسون" و"جرمر" بإجراء تجربة لدراسة تشتت الإلكترونات ذات الطاقة المنخفضة من هدف من النيكل موضوع فى منطقة مفرغة من الهواء، وبسبب حدوث عطل فى جهاز التفريغ ومحاولة العالمان إزالة هذا العطل اكتشفا أن الإلكترونات المشتتة تتجمع عند زوايا محددة وهو ما يحدث فقط عند حيود موجات الضوء، فتأكدت فكرة "دى بروى" عن سلوك الإلكترونات مثل الأشعة، ونال عنها جائزة نوبل بعد ذلك بثلاث سنوات.

وفى عام ١٩٢٥ وضع العالم النمساوى "ولفجانج باولى" قاعدة الاستثناء التى تنص على استحالة تواجد أكثر من إلكترون واحد فى نفس المستوى الكمى، بمعنى أن كل إلكترون فى ذرة يجب أن يكون له مجموعة خاصة من الأعداد الكمية الأربعة ولايشاركة فيها أى إلكترون آخر. والأعداد الأربعة هى التى

تحدد الطاقة ومقدار واتجاه الزخم الزاوى ودوران الإلكترون حـــول نفســه. وحصل "باولى" على جائزة نوبل عام ١٩٤٥.

وفى عام ١٩٢٦ توصل كلا من العالمين "شرودنجر" و"هيزنبرج" إلى صياغة مختلفة لعلم ميكانيكا الكم، الأول يعتمد على الميكانيكا الموجية والثانى يعتمـد على المصفوفات، وكانت سعادتهما كبيرة حين أكتشفا تطابق النظريتين. وفـى خريف عام ١٩٢٦ دعى "هيزنبرج" لإلقاء محاضرة فى برلين حول ميكانيكـا الكم الجديدة، وبعد انتهاء المحاضرة دعاه "أينشتين" لمناقشة أفكــاره الجديــدة التى اعتبرها "أينشتين" غريبة للغاية بسبب عـــدم ظــهور فكــرة مســارات الإلكترونات فى الذرة، ورد عليه "هيزنبرج" بأن الإنسان لايستطيع أن يـــرى مسارات الإلكترونات داخل الذرة ولكن الأشعة التى تنبعث من الذرات أثنـــاء عملية التفريغ تمكننا مباشرة من التأكد من وجود الترددات الاهتزازية وذلــك يمثل تعويضا عن المسارات الإلكترونية. كما أن النظرية النسبية (لأينشـــتين) لاتتحدث عن أزمنة مطلقة لعدم إمكان مشاهدة هذه الأزمنة، ورد "أينشتين" بأن النظرية هى التى تحدد ما يمكن مشاهدته فى المختبر.

وفى أحد الأيام تذكر "هيزنبرج" هذه المقولة وتوصل إلى مبدأ عدم الحتميـــة الذى ينص على استحالة إجراء تجربة لقياس موضع جسيم وسرعته فى نفس الوقت بدقة. وفى خريف عام ١٩٢٧ اجتمع الفيزيائيون فى مؤتمر سولفاى فى بروكسل لمناقشة قضايا نظرية الكم بالتفصيل ولم يكن "أينشتين" مستعدا لقبول الصفة الإحصائية لهذه النظرية، ومن هنا لم يكن ممكنا له التلاؤم مـــع مبـــدأ عدم الحتمية، وحاول من جانبه التفكير فى تجارب تؤدى إلى إسقاط هذا المبدأ ولكن سرعان ما يقوم "هيزنبرج" بتفنيد هذه التجارب. وبعد أن استمرت هـــذه المحاولات عدة أيام قال العالم "بول أيرنفست" موجها كلامه إلى "أينشـــتين": إننى أشعر بالخجل لك لأنك تحاول تقديم الحجج ضد نظرية الكم الجديدة تماما كما فعل المناهضون لك ضد النظرية النسبية. وقد حصل "هيزنـــبرج" علـــى جائزة نوبل عام ١٩٣٢ عن اكتشافه لمبدأ عدم الحتمية.

وتوفى "أينشتين" فى عام ١٩٥٥ وهو على اقتناع بأن علم ميكانيكا الكم ما هو إلا حل مرحلى لمشكلات الفيزياء النووية والذرية وغيرها، وأن هناك نظريـــة

موحدة عامة سوف يتم التوصل إليها مستقبلا، وكان آخر كتاب من تأليفه بعنوان "نظرية المجال الموحد" وضع فيه أفكاره التى لم تتبلور حتى الآن فى نظرية معترف بها. وقد تكون محاولات العلماء فى العقود الأخيرة من القرن العشرين لوضع نظرية الأوتار الفائقة هى تجسيد لأفكار "أينشتين" الأخيرة.

الآن يمكننا القول أن مبادئ علم ميكانيكا الكم قد استقرت رغم اعتراض البعض عليها، وتم تطبيقها بنجاح على بعض النماذج الذرية والنووية. وكان هذا التقدم العلمى نتيجة لجهود عدد من العلماء الأفذاذ على رأسهم "ماكس بلانك" و"ألبرت أينشتين" و"نيلز بور" و"كومبتون" و"دى بروى" و"هيزنبرج" و"شرودنجر". وقد حصلوا جميعا على جائزة نوبل.

فى العقد الثالث من القرن قام العالم الإنجليزى "بول ديراك" بتطوير علم ميكانيكا الكم النسبية ليصف بها حركة الجسيمات الدقيقة ذات السرعات العالية، وتوصل إلى معادلة سميت باسمه وعند تطبيقها على جسيم الإلكترون اكتشف أن المعادلة تتنبأ بوجود جسيم له مثل كتلة الإلكترون ولكن شحنته موجبة. ولم يكن هذا الجسيم قد أكتشف فى المختبر. وعندما أكتشفه "كارل أندرسون" عام ١٩٣٢ وأسماه بوزيترون نال "ديراك" جائزة نوبل عام ١٩٣٣، كما حصل "أندرسون" عليها عام ١٩٣٦.

وبذلك أصبحت قائمة الجسيمات الأولية المكتشفة هى الإلكترون والبروتون والبوزيترون ثم النيوترون الذى اكتشفه "جيمس شادويك" عام ١٩٣٢ ونال عنه جائزة نوبل.

وفى عام ١٩٣٨ اكتشف العالم "أوتو هان" بالتعاون مع "فريتز ستراسمان" الانشطار النووى، حيث أطلقا جسيمات النيوترون على أنوية اليورانيوم فانشطرت إلى نواتين مع انطلاق عدد من النيوترونات. وكان ذلك نتيجة جهود عدد من العلماء أهمهم "إنريكو فيرمى"، وقد حصل "فيرمى" على جائزة نوبل عام ١٩٣٨ ونالها "هان" عام ١٩٤٤.

وكان العالم اليابانى "يوكاوا" هو أول من درس القوى النووية القوية وقدم تفسيرا لهذه القوى عن طريق تبادل جسيمات جديدة تتراوح كتلتها بين كتلة الإلكترون وكتلة البروتون وأطلق على هذه الجسيمات اسم "ميزون" وهو

مشتق من كلمة لاتينية بمعنى الوسط. ولقد تم كشف هذه الجسيمات ضمن الأشعة الكونية عام ١٩٤٧ وهى جسيم "البيون" الذى أكتشفه "سيسل باول" وكذلك جسيم "الميون" الذى أكتشفه "أندرسون". وقد حصل "يوكاوا" على جائزة نوبل عام ١٩٤٩، كما حصل "باول" عليها عام ١٩٥٠.

وفى عام ١٩٥٢ حصل كلا من "فيلكس بلوخ" و"ادوارد ميلز" على جائزة نوبل لاكتشافهم الرنين المغناطيسى النووى فى السوائل والغازات، والذى أدى إلى تصوير الرنين المغناطيسى الذى أصبح من أهم أدوات التشخيص الطبى فيما بعد.

وكان العالم "ماكس بورن" قد قام فى عام ١٩٢٦ بإضافات فى علم ميكانيكا الكم أهمها إدخال فكرة الإحتمالية والتى ساعدت "هيزنبرج" على التوصل إلى مبدأ عدم الحتمية، وقد نال جائزة نوبل عن هذه الأعمال فى عام ١٩٥٤ بعد ما يقرب من ثلاثين عاما بعد إنجازه.

ومثله العالم الروسى "بافل تشرينكوف" الذى توصل فى عام ١٩٣٥ إلى أن شعاع جاما (وهو أحد مكونات الإشعاع الكهرومغناطيسى) إذا اصطدم بالذرات فإنه يخلق إلكترونات وبوزيترونات، وبتكرار التصادم تتكاثر الإلكترونات وتؤدى إلى نوع من الضوء يظهر فى الليل فى السماء الصافية وسمى إشعاع تشرينكوف. وبعد ذلك بعامين أضاف العالمان "إليا فرانك" و"إيجور تام" تفسيرا لهذه الظاهرة. وقد حصل صاحب الاكتشاف وصاحبا التفسير على جائزة نوبل فى عام ١٩٥٨.

نعود إلى اكتشافات الجسيمات الأولية فى هذه القرن والتى بدأت بالجسيمات التى تتركب منها الذرة بما فيها النواة وهى البروتون والنيوترون والإلكترون، وأعقب ذلك اكتشاف البوزيترون (ضديد الإلكترون) عام ١٩٣٢. وفى عام ١٩٥٥ اكتشف العالمان "إميليو سيجرى" و"أوين شامبرلين" وجود جسيم البروتون الضدى وهو يماثل البروتون فى جميع خصائصه فيما عدا الشحنة، ولايدخل فى تركيب الذرات أو الأنوية. وقد نالا جائزة نوبل عن هذا الإكتشاف عام ١٩٥٩.

ثم توالت الأبحاث عن جسيم البروتون وهل هو مركب من جسيمات أخـــرى حتى توصل العالم "روبرت هوفستاتر" إلى الــتركيب الداخلــى للبروتونــات والنيوترونات من جسيمات أصغر فى الكتلة تسمى "كوارك" وهو اسم مستعار من رواية "جيمس جويس" بعنوان "يقظة فينيجان". وقد نال "هوفستاتر" جــائزة نوبل عام ١٩٦١. ثم ظهر بعد ذلك أن الكوارك يدخل فى تركيب جســيمات الميزون أيضا.

وفى عام ١٩٥٢ توصل العلماء "تشارلز توتر" و"نيكولاى باسوف" و"الكسندر بروخوروف" لاكتشاف أشعة الميزر وأشعة الليزر وقد نالوا جائزة نوبل نظير ذلك فى عام ١٩٦٤. وبعد ذلك بعشرين عامــا طــور العالمــان "نيكــولاس بلومبرجن" و"أرثر شاولا" طيف الليزر لاستخدامه فى تطبيقات عديدة ونــالوا جائزة نوبل عام ١٩٨١.

وفى مجال الفيزياء الفلكية قام العالم "هانز بيته" باكتشــاف مســارات إنتــاج الطاقة فى النجوم عام ١٩٣٩ ولكنه حصل على جائزة نوبل فى عـلم ١٩٦٧. وفى عام ١٩٨٣ حصل العالم "وليام فولر" على الجائزة عن مجمل أعماله فى التخليق النووى فى الفيزياء الفلكية، واشترك معه فى الجائزة العالم الـــهندى "شاندر اسخار" عن أعماله فى التركيب النجمى وتنبؤه بالنجوم الصغيرة قبــل ذلك بخمسين عاما.

وقد عادت الجسيمات الأولية إلى صدارة الاهتمام فى عام ١٩٦٨ حين حصل "لويس ألفاريز" على جائزة نوبل عن مجمل أبحاثه فى هــذا الموضوع، ثـــم نال "موراى جلمان" الجائزة فى العام التالى عن تصنيفه لتلك الجسيمات. وقــد كان "ألفاريز" من المهتمين بالآثار المصرية وأنجز مشروعا بحثيا على هــرم خفرع بالاشتراك مع جامعة عين شمس، وذلك برصد الأشعة الكونية داخـــل وخارج الهرم لتحديد إمكان وجود غرف غير مكتشفة به، وكان كـــاتب هـــذا الكتاب من المشاركين فى هذا المشروع، وأسعدنى الحظ بحضورى احتفـــال الجمعية الفيزيائية الأمريكية بحصوله على الجائزة فى واشنطن عام ١٩٦٩.

ومنذ الستينات تبين للقائمين على جائزة نوبل فى الفيزياء أن الإنجــازات ذات القيمة العالية بدأت فى التراجع، ونال الجائزة علماء عن إنجازاتــهم الســابقة

التى قد يصل عمرها إلى ما يقرب من أربعين عاما. فقد حصل العالم "هـانز ألفن" و"لويس نيل" على الجائزة مشاركة فى عـام ١٩٧٠. الأول لتطويره نظرية الهيدروديناميكا المغناطيسية والثانى لاكتشافه نوعان للمغناطيسية أحدها عالى النفاذية، وقد تم هذا الاكتشاف فى عام ١٩٣٠.

وفى عام ١٩٧٢ نال "جون باردين" و"ليون كوبر" و"جون شـرايفر" جـائزة نوبل لقيامهم بتفسير التوصيل الفائق فى المواد عام ١٩٥٧.

ومن المعروف أن القوى الأساسية فى الكون أربعة وهى قوى الجاذبية المادية والتى تتسبب فى سقوط الأجسام نحو سطح الأرض أو فى اسـتقرار حركـة الكواكب، ثم القوى الكهرومغناطيسية التى ينتج عنها تجاذب وتنافر الشـحنات الكهربية، ثم القوى النووية الضعيفة التى تظهر فى اضمحلال الأنويـة عـن طريق إشعاع جسيمات مثل الإلكترونات وغيرها، وأخـيرا القـوى النوويـة القوية وهى المسئولة عن تماسك النواة، وفى حالة إنشطارها تتولد طاقة كبيرة يمكن استغلالها إما سلميا أو تدميريا. وكل من هذه القوى الأربع تظهر علـى صورة تبادل أنواع من الجسيمات بعضها بدون كتلة مثل الجرافيتون لقـوى الجاذبية أو الفوتون للكهرومغناطيسية والبعض الآخر له كتلة مثل البـوزون للقوى الضعيفة أو الجلون للقوى النووية القوية.

وخلال الفترة من عام ١٩٥٨ حتى عام ١٩٧١ قام ثلاثة من العلمـاء علـى رأسهم العالم الباكستانى عبد السلام ومعه "ستيفن واينبرج" و"شيلدون جلاشـو" بتطوير نظرية لتوحيد نوعين من القوى الرئيسية همـا النوويـة الضعيفـة والكهرومغناطيسية وقد نالوا جميعا جائزة نوبل عام ١٩٧٩.

وفى السبعينيات اقترح العالم اليابانى "فوجاى" أن قوى الجاذبية تنقسـم إلـى نوعين أحدهما جاذب وهو الشائع والآخر طارد. وفى الثمانينـات أصـابت علماء الجسيمات الأولية حمى كشف هذه القـوى الجديـدة وسـموها القـوة الخامسة، وكان أمل كل منهم هو الحصول على جائزة نوبـل، وتـم إنفـاق ملايين الدولارات على تجارب قريبة من الجبال أو فـى قـاع المحيطـات، وامتلأت الدوريات العلمية بأبحاث القـوة الخامسة حتى عـام ١٩٩٢ حيـن أغلق الملف بعد التأكد من عدم وجود هذه القوة المزعومة.

وفى عام ١٩٨٤ نال "كارلو روبيا" الجائزة لاكتشافه جسيمين يحققان نظرية عبد السلام فى توحيد القوى النووية الضعيفة والقوى الكهرومغناطيسية وسميت القوى الكهروضعيفة.

وفى نهاية هذا العرض عن تقدم علم الفيزياء فى القرن العشرين أود أن أنوه إلى بعض الإنجازات التكنولوجية التى تمت فى هذا القرن. ففى عام ١٩٠٨ حصل "جابريل ليبمان" على جائزة نوبل لإنجازه أول لوحة فوتوغرافية ملونة مستخدما فى ذلك طرق التداخل الضوئى. وفى العام التالى حصل "ماركونى" بالاشتراك مع "برون" على الجائزة لاختراعهما التلغراف اللاسلكى.

وفى عام ١٩٢٠ نال "تشارلز جيلوم" الجائزة لاكتشافه سبيكة من النيكل والصلب لها معامل تمدد ضعيف. وحصل "أرنست لورانس" على الجائزة عام ١٩٣٩ لاختراعه السيكلوترون وهو جهاز هام فى أبحاث الجسيمات الدقيقة ذات الطاقات العالية.

وفى عام ١٩٥٦ حدث أهم اختراع تكنولوجى فى هذا القرن وهو الترانزستور الذى أحدث انقلابا فى أجهزة الراديو والتلفزيون وغير ذلك من الأجهزة، وحصل العلماء الذين توصلوا لهذا الاختراع على جائزة نوبل فى نفس العام وهو ما لم يحدث قبل ذلك، والعلماء هم "جون باردين" و"والتر بريتين" و"وليام شوكلى".

وفى عام ١٩٨٦ حصل "ارنست روسكا" على الجائزة لاختراعه الميكروسكوب الإلكترونى قبل هذا التاريخ بخمسة وخمسين عاما، وشاركه فى الجائزة "جيرد بينج" و"هنريش رورار" لاختراعهم الميكروسكوب النفقى الماسح قبل خمسة أعوام فقط. وكان الجهاز الأخير من تطبيقات علم ميكانيكا الكم.

ميكانيكا الكم

مقدمة

إن التقدم العلمى يتطلب من المشتغلين به الأخذ بمضامين فكرية جديدة والعمل بها، وبالطبع فإن كل المشتغلين بالعلم على استعداد تام لذلك، غير أنه عند الخوض فى أرض جديدة يتحتم علينا أحيانا ليس فقط الأخذ بمضامين جديدة ولكن أيضا تغيير التركيب الفكرى ذاته. ويبدو أن الكثيرين من المشتغلين بالعلم غير مستعدين أو قادرين على إنجاز هذه الخطوة، ولكن الصفوة منهم القادرين على سبر المجهول وكشفه هم الذين يقدمون للبشرية العلامات المضيئة فى طريق البحث العلمى الأصيل.

ويعتبر علم ميكانيكا الكم من العلوم الحديثة نسبيا، فقد ظهر فى بداية القرن العشرين ونما فى الربع الثانى من القرن على أيدى عدد من العلماء الأكفاء الذين حصلوا على جائزة نوبل فى الفيزياء لأبحاثهم المتميزة. وقد نجح هذا العلم فى تقديم تفسيرات لعدد من المشكلات الفيزيائية التى كانت قائمة وفشلت الفيزياء التقليدية فى تقديم تفسير لها.

ويعتمد الجزء الأساسى من الفيزياء التقليدية على الميكانيكا النيوتونية التى تعتبر المادة مكونة من جسيمات تتحرك تحت تأثير قوى التفاعل المتبادلة فيما بينها طبقا لقوانين "نيوتن" (١٦٤٢ – ١٧٢٧)، وأهمها قانون الحركة الذى ينص على أن "القوة = الكتلة × العجلة" وكذلك قانون الجاذبية. وقد نجحت هذه القوانين فى وصف حركة الكواكب، ولكنها لم تنجح فى وصف حركة الجسيمات داخل الذرة.

ويهتم الشق الثانى مـــن الفيزيـــاء التقليديـــة بدراســـة الظواهـــر الكهربيـــة والمغناطيسية، حيث نجد أن أفضل وصف لها يتم بدلالة المجالين الكـــــهربى والمغناطيسى. ويرتبط هذان المجالان بكثافة الشحنة وكثافة التيار من خـــلال معادلات "ماكسويل" (١٨٣١ - ١٨٧٩).

أما أول من أدخل الفكرة الأساسية للنظرية الكمية فهو العالم "ماكس بلانـــك" (١٨٥٨ - ١٩٤٧) حين كان يدرس الإشعاع الحرارى للأجسام وتوصل إلـــى فكرة الطاقة الكمية أى قيم الطاقة المتقطعة (غير المستمرة) للإشعاع. غير أن مفهوم التكميم قد نجح فيما بعد فى حل العديد من المشكلات الفيزيائية التـــى احتاج تفسيرها إلى تبنى هذا المفهوم سواء فى حساب طاقة الجسيمات أو فـــى حساب الزخم الزاوى (حاصل ضرب الكتلة فى السرعة فـــى نصـــف قطـــر المسار).

الإشعاع الحرارى:

فى نهاية القرن التاسع عشر اكتشف العلماء أن أى جسم يطلق إشعاعا حراريا يعتمد على مادة الجسم ودرجة حرارته، وسمى "إشعاع الجسم الأسود". ومـــع زيادة درجة الحرارة يظهر للعين هذا الإشعاع فى صورة لون مثـــل اللـــون الأحمر للحديد المنصهر واللون الأبيض لسلك التنجستن لمصباح الإضـــــاءة. وقد حاول العلماء صياغة العلاقة بين شدة الإشعاع الحرارى وطول موجـــة هذا الإشعاع ولكنهم فشلوا فى إيجاد صياغة تتفق مع النتائج التجريبية، وظلت هذه العلاقة غير محددة طبقا للقوانين الفيزيائية التقليدية حتى اكتشف "بلانـــك" فى عام ١٩٠٠ صيغة لتلك العلاقة اتفقت تماما مع النتائج التجريبية. وفى هذه العلاقة أدخل "بلانك" مقدارا ثابتا فى الصياغة عرف فيما بعد باســـم "ثـــابت بلانك" (h) وقدرت قيمته بالقيمة ($h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s) وهو بوحدات "الجول ثانية" أو "الفعل". ثم شرح "بلانك" طبيعة الجزيئات المتذبذبة عند سطح الجسم المشع بأن أدخل قيم الطاقة المتقطعة - غير المستمرة - بحيث تساوى الطاقة حاصل ضرب التردد فى ثابت "بلانك" فى عدد صحيح سمى بالعدد الكمـــى، ولذا ظهر تعبير الطاقة الكمية ومستويات الطاقة التى تعتمد على قيـــم العـــدد الكمى، بحيث إذا انتقل الجزئ من مستوى إلى آخر ينبعث من (أو يمتـــص)

الجزئ كمية من الطاقة تساوى قيمة التردد مضروبا فى ثابت "بلانك"، أو أحد مضاعفات هذا المقدار.

وكان التوصل إلى فكرة مستويات الطاقة الكمية هو مولد نظرية الكـــم القديمـــة، وحصل "بلانك" على جائزة نوبل عام ١٩١٨ عن هذه النظريـــــة، وبمـــرور الوقت ظهر أن النظرية المبنية على مفهوم الكم هى التى يمكن أن تفسر العديد من الظواهر الفيزيائية على المستوى الذرى.

التأثير الكهروضوئى:

وفى نهاية القرن التاسع عشر أيضا أثبتت التجارب أن الضوء الساقط علـــى سطوح معدنية معينة يسبب انبعاث الإلكترونات من هذه الســطوح وسـميت الإلكترونات الضوئية. وقد حاول العلماء تفسير هذه الظاهرة باستخدام الفيزياء التقليدية، من حيث أن انبعاثها يتم بعد امتصاص الضوء الساقط عليها ويعتمـد على التفاعل بين شـــحنات الإلكترونـــات الحـــرة فـــى المعـــدن والمجـــال الكهرومغناطيسى للضوء، وظن العلماء أن متوسط طاقة حركة الإلكترونـــات المنبعثة يتناسب مع شـــدة الضوء الساقط، ولكـــن ظـــهر أن هـــذه النتيجـــة تتعارض مع النتائج التجريبية.

وقد قدم "أينشتين" (١٨٧٩ – ١٩٥٥) تفسيرا مقبولا لهذه الظاهرة فـــى عـــام ١٩٠٥ حيث استخدم مفـــهوم "بلانـــك" للتكميـــم بتطبيقـــه علـــى الموجـــات الكهرومغناطيسية بأن قال بأن الضوء – وهو موجـــات كهرومغناطيســـية – يتكون من جسيمات صغيرة بدون كتلة (سميت فوتونـــات) أو "حـــزم طاقـــة" تتحرك بسرعات كبيرة جدا وكل منها له طاقة تساوى حاصل ضرب الـــتردد فى ثابت "بلانك"، وأن الفوتون الساقط يتم امتصاصه بواسطة إلكترون داخـــل المعدن وبذلك يكتسب الإلكترون طاقة تساوى ثابت "بلانك" مضروبا فى تردد الفوتون، وإذا كان الإلكترون فى حاجة إلى كمية من الشغل لتحريـــره مـــن سطح المعدن فإن "طاقة حركة الإلكترون المنبعث = ثابت "بلانـــك" × تـــردد الفوتونات – الشغل اللازم لتحرير الإلكترون من سطح المعدن". كما وضـــع "أينشتين" مبدأ نظريا آخرا وهو أن الفوتون رغم كونه بدون كتلة فإن له زخـم

(حاصل ضرب الكتلة × السرعة) يمكن حسابه بقسمة طاقة الفوتون على سرعة الضوء.

وفى عام ١٩٢١ نال "أينشتين" جائزة نوبل عن إنتاجه العلمى فى التأثير الكهروضوئى، وليس عن نظريته النسبية الخاصة التى وضعها عام ١٩٠٥ أو النسبية العامة التى وضعها عام ١٩١٦.

زخم الأشعة وتأثير "كومبتون":

فى عام ١٩٢٣ أجرى "كومبتون" (١٨٩٢ - ١٩٦٢) تجربة لدراسة تأثير أشعة إكس (وهى موجات كهرومغناطيسية) على الأهداف المختلفة، فقام بتسليط فوتونات أشعة إكس على هدف كربونى فتشتتت الإلكترونات من الهدف وانحرفت فى اتجاه، وانحرفت الفوتونات فى اتجاه آخر مثلما يحدث عند تصادم كرتين من البليارد. وبتطبيق قانون حفظ الزخم [وهو أحد قوانين الفيزياء التقليدية والذى ينص على أنه فى أى عملية تصادم تظل محصلة الزخم الكلى بعد التصادم مساوية لها قبل التصادم]، ومع حساب زوايا الانحراف أثبت "كومبتون" عمليا أن الأشعة لها زخم مثلها مثل الجسيمات المادية واستخدم طريقة حساب زخم الأشعة التى اقترحها "أينشتين"، وبذلك توصل "كومبتون" إلى ما يعرف بالسلوك الجسيمى للأشعة. وقد حصل "كومبتون" على جائزة نوبل عن هذا العمل فى عام ١٩٢٧.

الفوتونات والموجات الكهرومغناطيسية:

إن ظاهرتى التأثير الكهروضوئى وتأثير "كومبتون" تقدمان دليلا واضحا على أنه عندما يتفاعل الضوء مع المادة فإنه يتصرف كما لو كان مكونا من جسيمات تحمل طاقة تساوى حاصل ضرب ثابت "بلانك" فى تردد الضوء وزخم يساوى ثابت "بلانك" مقسوما على طول موجة الضوء. وقد احتار العلماء فى ذلك الوقت وعقدوا اللقاءات للإجابة عن الأسئلة التالية:

كيف يمكن اعتبار الضوء فوتون (أى جسيم) ونحن نعلم أنه موجه؟

فنحن من جهة نصف الضوء بدلالة الفوتونات التى تحمل طاقة ولها زخم، ومن جهة أخرى نعلم أن الضوء والموجات الكهرومغناطيسية الأخرى يظهر لها تأثير التداخل والحيود بما يتفق تماما مع خصائص الموجات.

فأى النموذجين صحيح؟ هل الضوء موجة أو جسيم؟

وكانت الإجابة على هذه الأسئلة تعتمد على الظاهرة محل الدراسة، فبعض التجارب يمكن تفسيرها فقط بمفهوم الفوتون، بينما البعض الآخر تفسر بنموذج الموجة. وعلى ذلك فيتحتم علينا أن نقبل بالنموذجين ونقر بأن الطبيعة الحقيقية للضوء لايمكن وصفها بدلالة نموذج واحد. ويجب أن نعلم أيضا أن نفس شعاع الضوء الذى يتسبب فى انبعاث الإلكترونات الضوئية من معدن (ومعناه أن الشعاع يتكون من فوتونات) هو نفسه الذى يعانى حيودا عندما يسقط على بلورات (ومعناه أن الشعاع عبارة عن موجة). أى أن نظرية الفوتونات والنظرية الموجية للضوء يتكاملان.

إن نجاح نموذج الجسيم للضوء فى تفسير التأثير الكهروضوئى وكذلك تأثير "كومبتون" يثير لدينا مجموعة من الأسئلة:

إذا كان الضوء جسيم، فما معنى تردده وطول موجته؟ وأى من هاتين الخاصتين تحدد طاقته وزخمه؟ وهل الضوء يكون فى نفس الوقت موجه وجسيم؟ ورغم أن الفوتون ليس له كتلة (كمية لايمكن مشاهدتها)، هل يوجد صيغة سهلة للكتلة المؤثرة للفوتون المتحرك؟ وإذا كان للفوتون كتلة، فهل يخضع لقانون الجاذبية؟ وما هو حدود الحيز الذى يشغله الفوتون فى الفراغ؟ وكيف يمتص الإلكترون (أو يشتت) فوتون؟

الإجابة على هذه الأسئلة تظهر فى علم ميكانيكا الكم الذى يعطى الضوء طبيعة أكثر مرونة وأكثر ميوعة وذلك بدمج كل من نموذج الجسيم ونموذج الموجة للضوء.

والآن نقدم مثالا لتوضيح كيفية تواؤم الفوتونات مع الموجات الكهرومغناطيسية من خلال موجة الراديو ٢,٥ ميجا هيرتز. إن طاقة الفوتون الذى يحمل نفس التردد تساوى جزء من مائة مليون جزء من الإلكترون فولت، وهذه الطاقة أصغر كثيرا من إمكان كشفها. أما جهاز الاستقبال فيلزمه وجود عشرة بلايين من هذه الفوتونات لإمكان استقبال الإشارة، وهذا العدد الهائل سوف يظهر على هيئة موجة مستمرة. ومعنى ذلك أنه باستخدام موجة

الراديو ٢,٥ ميجا هيرتز لايمكن كشف الفوتونات الفردية التى تصطدم بالهوائى.

أما فى حالة طول موجة أكثر قصرا مما سبق، فسوف يصبح فى الإمكان الإحساس بالفوتون وكذلك بخصائص الموجة فى نفس الوقت، والسبب أنه مع قصر طول الموجة تزداد قيمة طاقة وزخم الجسيم، وبالتالى فإن الطبيعة الفوتونية للضوء تكون أكثر وضوحا من الطبيعة الموجية. وكمثال على ذلك عملية امتصاص فوتون أشعة إكس التى يمكن كشفها كحدث فردى، وعلى ذلك فكلما قل طول الموجة زادت صعوبة كشف التأثير الموجى.

إشعاع التفريغ الكهربى:

شغل موضوع إشعاع التفريغ الكهربى علماء الفيزياء فى بداية القرن العشرين، ويتلخص هذا الموضوع فى أنه إذا تعرض عنصر غازى تحت ضغط منخفض لعملية تفريغ كهربى (أى يتعرض الغاز لجهد يزيد عن الجهد المطلوب لتفكيكه) ثم يتم تحليل الضوء الناتج طيفيا تظهر مجموعة من الخطوط الملونة - كل منها يمثل أشعة ذات طول موجى معين - ويكون لكل عنصر خطوطه الخاصة، غير أنه كان من الملاحظ أن عنصر الهيدروجين يكون له أبسط خطوط طيف.

ونظرا لأن كل عنصر يشع خطوط طيف تختلف عن الآخر، فقد استخدمت هذه الطريقة لتحديد العناصر الموجودة فى أى عينة مجهولة. فمثلا أمكن تحديد العناصر الموجودة فى الشمس بتحليل أشعة الشمس، وكذلك بالتحليل الطيفى لصخور القمر أمكن تحديد عناصره. ولكن بقى هناك سؤالان هامان وهما: لماذا تشع ذرات عنصر معين خطوط طيف معينة؟ ولماذا تمتص هذه الذرات نفس قيم هذه الطاقة المشعة؟ هذان السؤالان ظلا بدون إجابة حتى توصل "نيلز بور" إلى نظريته الذرية. وقبل التعرض لهذه النظرية نستعرض بإيجاز النماذج التى سبقتها.

النماذج الأولية للذرة:

فى بداية القرن العشرين اقترح "جوزيف تومسون" (١٨٥٦ - ١٩٤٠) نموذجا للذرة عبارة عن كرة موجبة الشحنة، وتتواجد الإلكترونات سالبة الشحنة بداخلها مثلما تتواجد البذور داخل أى ثمرة، ولكن "إرنست رذرفورد" (١٨٧١ - ١٩٣٧) أجرى فى عام ١٩١١ - بالتعاون مع تلميذيه "جيجر" و"مارسدن" - تجربة هامة أثبتوا منها أن نموذج "تومسون" لايمكن أن يكون صحيحا، إذ أطلقوا حزمة من جسيمات ألفا موجبة الشحنة على شريحة معدنية رقيقة، فاخترقت معظم الجسيمات هذه الشريحة كما لو كانت متحركة فى فراغ ولكن عدد من هذه الجسيمات انحرف عن المسار الأصلى بزوايا كبيرة، وقليل منها ارتد راجعا.

وقد أصابت هذه الانحرافات الكبيرة "رذرفورد" بالدهشة لتعارض ذلك مع نموذج "تومسون". فطبقا لهذا النموذج - الذى يعتبر ذرة الشريحة المعدنية كرة موجبة الشحنة - لا يمكن لجسيمات ألفا الموجبة أن تصل قريبا من ذرات الشريحة بحيث يحدث انحرافا، واستنتج من ذلك أن الشحنة الموجبة فى الذرة تتركز فى منطقة صغيرة بالنسبة لحجم الذرة، وسمى هذا الجزء "نواة" الذرة. وأضاف أن إلكترونات الذرة تتحرك فى باقى حجم الذرة خارج النواة، وهى لاتنجذب نحو النواة الموجبة لتحركها فى مسارات حولها بنفس طريقة حركة الكواكب حول الشمس. وحصل "رذرفورد" على جائزة نوبل عام ١٩٠٨.

ولكن هذا النموذج الكونى للذرة قوبل بصعوبتين بالغتين أولاهما عدم إمكان تفسير الإشعاعات الكهرومغناطيسية التى تطلقها أى ذرة بترددات محددة. أما الصعوبة الثانية فهى أن الإلكترونات فى هذا النموذج تتعرض لتسارع مركزى ناشئ عن الحركة الدائرية التقليدية، وطبقا للنظرية الكهرومغناطيسية فإن الشحنات المتسارعة دائريا بتردد معين تشع موجات كهرومغناطيسية بنفس التردد، وكلما أطلقت الإلكترونات إشعاعا فإن نصف قطر المسار يقل باستمرار وتزداد قيمة تردد الدوران، وبالتالى تزداد قيمة تردد الإشعاع المنبعث مما يؤدى فى النهاية إلى اتجاه الإلكترون السالب نحو النواة الموجبة ليتم امتصاصه، ومع توالى امتصاص الإلكترون السالب نحو النواة الموجبة.

نموذج "نيلز بور" الكمى للذرة:

قدم "نيلز بور" فى عام ١٩١٣ تفسيرا للطيف الذرى وركز على نموذج ذرة الهيدروجين التى تتكون من جسيم البروتون الموجب الشحنة (نواة الذرة) وإلكترون واحد سالب الشحنة. وقد استخدم "بور" نظرية الكم القديمة للعالم "بلانك" لشرح التركيب الذرى والطيف الذرى موضحا العلاقة بين مستويات الطاقة لإلكترونات الذرة وتردد الضوء المنبعث من (أو الممتص) بواسطة الذرة، وتضمن النموذج أربعة فروض: الفرض الأول هو أن الإلكترون يدور فى مسار دائرى حول البروتون تحت تأثير قوة الجذب الكولومبية بين الشحنتين والتى تمثل القوة الجاذبة المركزية. والفرض الثانى هو أن بعض المسارات فقط تكون مستقرة وفيها لايشع الإلكترون أى طاقة وتظل الطاقة الكلية للذرة ثابتة. والفرض الثالث هو أن الإشعاع ينطلق من الذرة عندما يقفز الإلكترون من مسار ذى طاقة أعلى إلى مسار ذى طاقة أقل، ويكون تردد هذا الإشعاع مساويا الفرق بين الطاقتين مقسوما على ثابت "بلانك". أما الفرض الربع فيتناول تحديد المسارات المسموح بها للإلكترون بحيث يكون الزخم الزاوى للإلكترون حول النواة مقدارا كميا يساوى ثابت "بلانك" مضروبا فى عدد صحيح ومقسوما على ضعف النسبة التقريبية. وهو بهذا قد قام بتكميم الزخم الزاوى مثلما فعل "بلانك" قبله لتكميم الطاقة.

ومن هذه الفروض استطاع "بور" أن يحسب الطاقة الكلية لذرة الهيدروجين، كما أمكن حساب نصف قطر المسار، وفيما بعد عرف أصغر نصف قطر لذرة الهيدروجين بأنه نصف قطر "بور" وهو يساوى ٠,٠٥٢٩ نانو متر. وظهرت الطاقة الكلية لذرة الهيدروجين بقيمة سالبة لأنها طاقة ربط للإلكترون. ولكى يتحرر الإلكترون من الذرة يجب أن تستقبل الذرة طاقة خارجية تساوى على الأقل قيمة طاقة الربط. ويسمى المستوى الأدنى لهذه الطاقة "المستوى الأرضى" وذلك عندما يكون العدد الصحيح – الذى أصبح يسمى العدد الكمى الأساسى – يساوى واحدا، وفى هذه الحالة تكون طاقة ذرة الهيدروجين تساوى – ١٣,٦ بوحدات الإلكترون فولت. وعندما يكون العدد

الكمى الأساسى مساويا اثنان تصبح الذرة فى مستوى الإثارة الأول وتكون الطاقة مساوية -٣,٤ إلكترون فولت.

وطبقا لفروض "بور" يصبح من السهل حساب تردد الفوتون المنطلق من الذرة عندما يقفز الإلكترون من مسار إلى آخر. فإذا كانت ذرة الهيدروجين فى المستوى الأرضى حيث العدد الكمى الأساسى يساوى ١، فإن الإلكترون يمكنه أن يقفز إلى أحد المستويات الأخرى ذات عدد كمى أساسى يساوى ٢ أو ٣ أو ٤ أو...، وقد أكتشف "ليمان" خطوط الطيف المناظرة لهذه الانتقالات وسميت متسلسلة "ليمان"، وبالمثل ظهرت متسلسلة "بالمر" عندما تكون الذرة فى مستوى العدد الكمى الأساسى ٢ وتنتقل إلى المستويات ذات العدد الكمى الأساسى ٣ أو ٤ أو ٥ أو... وكذلك متسلسلة "باشن" التى تنطلق من ذرة الهيدروجين فى مستوى العدد الكمى الأساسى ٣.

وقد نجح نموذج "بور" نجاحا باهرا فى الاتفاق مع العديد من النتائج التجريبية. كما نجح فى إيجاد تفسير لسبب إشعاع الذرة لطاقة إشعاعية ذات أطوال موجات معينة أو امتصاصها لطاقة إشعاعية ذات نفس الأطوال. ونجح أيضا فى تخطى العقبات التى قابلت نموذج "رذرفورد".

وقد نال "نيلز بور" جائزة نوبل فى عام ١٩٢٢ عن النموذج الكمى للذرة. وفيما بعد قام "بور" بتعميم النموذج الكمى لذرة الهيدروجين على ذرات العناصر الأخرى عندما يكون بها إلكترون واحد مثل الهليوم أحادى الشحنة الموجبة أو الليثيوم ثنائى الشحنة الموجبة أو البريليوم ثلاثى الشحنة الموجبة.

نموذج "بور - ستونر" لبناء الذرات:

اقترح "بور" و"ستونر" توسيع نطاق نموذج ذرة الهيدروجين ليشمل جميع ذرات عناصر الجدول الدورى. فإذا كان العدد الذرى لذرة ما هو "م" فمعنى ذلك وجود "م" من الإلكترونات تحيط بنواة الذرة، وهذه الإلكترونات تتحرك -طبقا لهذا النموذج- فى قشرات كروية مماثلة لذرة الهيدروجين. وأضاف "بور" و"ستونر" أنه إذا كان العدد الكمى الأساسى لقشرة ما هو "ن" فإنها تستوعب ضعف مربع هذا العدد من الإلكترونات، ومعنى ذلك أنه إذا كانت ن

= ١ فإن عدد الإلكترونات يساوى ٢، وإذا كانت ن = ٢ يصبح عدد الإلكترونات ٨، وإذا كانت ن = ٣ ارتفع عدد الإلكترونات إلى ١٨ وهكذا.

وانطبق هذا النموذج على معظم عناصر الجدول الدورى، إلا أن القاعدة السابقة لم تنطبق تماما على العناصر الثقيلة.

نظام "ولسون" و"زومرفيلد" الكمى:

علمنا فى ما سبق أن "نيلز بور" قد أدخل نظام تكميم الزخم الزاوى للإلكترون المتحرك حول النواة، كما سبقه "بلانك" فى تكميم الطاقة الكلية لنظام فيزيائى. وقد ظل العلماء فترة من الزمن فى حيرة أى نظام تكميم هو الأعم حتى قدم العالمان "ولسون" و"زومرفيلد" عام ١٩١٦ قاعدة للتكميم تسرى على أى نظام فيزيائى له إحداثيات تتغير بطريقة تكرارية مع الزمن، وهذه القاعدة هى أن التكامل المغلق للزخم الخطى بالنسبة لأى إحداثى خلال دورة كاملة يساوى ثابت "بلانك" مضروبا فى عدد صحيح. وقد نجح هذا النظام فى دراسة بعض النظم الذرية، خاصة وأنه اتضح فيما بعد أن كلا من تكميم "بور" وتكميم "بلانك" هما حالتان خاصتان من هذا النظام.

نموذج "زومرفيلد" الذرى:

سبق أن أشرنا إلى أن نموذج "بور" ذى المدارات الدائرية نجح فى تحقيق طيف ذرة الهيدروجين، ولكن مع تطور الأجهزة الفيزيائية ظهر أن بعض خطوط الهيدروجين تنقسم إلى عدة مركبات، وظهر قصور نموذج "بور" فى تفسير هذه المركبات حتى قام "زومرفيلد" بتعديل هذا النموذج بأن سمح للإلكترونات أن تتحرك فى مدار على هيئة قطع ناقص، وكان هذا التطوير سببا فى تفسير البناء الدقيق لخطوط طيف ذرة الهيدروجين. وبتطبيق قاعدة "ولسون" و"زومرفيلد" للتكميم فى الإحداثيات القطبية تبين أن العدد الكمى الأساسى عبارة عن مجموع عددين كميين كل منه خاص بأحد الإحداثيات القطبية فى الحركة المستوية. ولكن طاقة الإلكترون ظلت لها قيمة واحدة تعتمد على العدد الكمى الأساسى، وإذا كانت قيمة هذا العدد "واحد" تحول مدار القطع الناقص إلى مدار دائرى، أما إذا زاد هذا العدد عن "واحد" تعددت

المدارات وأصبح بعضها على هيئة قطع ناقص. وهنا يظهر ما سمى بالعدد الكمى المدارى، وهو الذى يحدد القشرة الفرعية الذرية.

الخاصية الموجية للجسيمات:

سبق أن أشرنا إلى الخاصية الجسيمية للأشعة والتى اقترحها "أينشتين" وأثبتها "كومبتون" عمليا، وهى أن الأشعة الكهرومغناطيسية تتكون من جسيمات ليس لها كتلة ولكن لها زخم وتسمى هذه الجسيمات فوتونات. أى أن الأشعة الكهرومغناطيسية لها خواص موجية فى انتشارها وخواص جسيمية فى تفاعلها مع المادة.

وفى عام ١٩٢٣ قدم "لويس دى بروى" (١٨٩٢ - ١٩٨٧) رسالته للحصول على الدكتوراه واقترح فيها أن الازدواج فى سلوك الأشعة الكهرومغناطيسية ينطبق تماما على المادة، وأضاف أن جميع الأجسام المادية لها خصائص الأشعة بالإضافة إلى خصائص الأجسام، ووضع صيغة لطول الموجة المصاحبة للجسيم بأنها تساوى ثابت "بلانك" مقسوما على زخم الجسيم، وصيغة أخرى لتردد هذه الموجة تساوى قيمة طاقة الجسيم مقسومة على ثابت "بلانك". ومعنى ذلك أن جسيم مثل الإلكترون له كتلة متحركة ويصحبه موجة لها سرعة وتردد كما أن لها طول، واقترح "لويس دى بروى" أن الخواص الموجية والخواص الجسيمية متلازمين لحركة الجسيم. وقد قوبلت هذه الفكرة الثورية بمعارضة شديدة من العلماء واعتبروها مجرد تخمين وفكر أساتذته فى عدم منحه درجة الدكتوراه ولكن أينشتين توسط لديهم لمنحه الدرجة رغم عدم اقتناعه تماما برأى "دى بروى".

وبعد هذه الضجة بثلاث سنوات تصادف أن قام عالمان فى الفيزياء التجريبية هما "دافيسون وجرمر" بإجراء تجربة لدراسة تشتت الإلكترونات ذات الطاقة المنخفضة من هدف من النيكل موضوع فى منطقة مفرغة من الهواء. ولكن بسبب حدوث عطل فى جهاز التفريغ تسرب الهواء إلى الداخل وحدث تأكسد لسطح عينة النيكل، فقام العالمان بإزالة طبقة التأكسد عن طريق تعريض العينة إلى تيار من الهيدروجين الساخن، وبعد ذلك استقبل العالمان الإلكترونات المشتتة فوجدا أنها -على غير العادة- تتجمع عند زوايا محددة

وتبين أن النيكل قد كون مناطق بلورية على السطح وأن هذه المناطق تتكون من ذرات مرتبة فى مستويات على أبعاد منتظمة، وقد ساهمت هذه المستويات فى تشتت الإلكترونات كمحزوزات حيود لموجات الإلكترونات. وبعد ذلك قام العالمان بإجراء تجارب أخرى على تشتت الإلكترونات من بلورات أخرى وتحققا من النتائج التى تثبت الخاصية الموجية للإلكترونات كما تحقق من صيغة طول الموجة التى اقترحها "لويس دى بروى". وفيما بعد توصل علماء الفيزياء التجريبية إلى محزوزات الحيود لحزم من ذرات الهليوم وأخرى من ذرات الهيدروجين وكذلك حزم من النيوترونات، وبذلك تحققت الطبيعة العامة للموجات المصاحبة للمادة.

ولقد نال "لويس دى بروى" جائزة نوبل فى عام ١٩٢٩ عن السلوك الإزدواجى للمادة، وفى خطابه فى حفل قبوله الجائزة قال ما يلى:

"لايمكن اعتبار النظرية الكمية للضوء كافية لأنها تحدد طاقة جسيم الضوء (الفوتون) بدلالة تردده. والآن لاتحتوى النظرية الجسيمية على ما يساعدنا لتعريف التردد، ولهذا السبب فقط يجب علينا أن ندخل فكرة الجسيم وكذلك فكرة التكرارية فى حالة الضوء. وعلى الوجه الآخر فإن تحديد الحركة المستقرة للإلكترونات فى الذرة تعتمد على الأعداد الصحيحة، وحتى الآن فإن الظواهر الوحيدة التى تعتمد على الأعداد الصحيحة فى الفيزياء هى التداخل الضوئى والأسلوب العمودى للاهتزازات. هذه الحقائق جعلتنى أقتنع بفكرة أن الإلكترونات لا يمكن اعتبارها جسيمات فقط، وإنما تسلك أيضا سلوك الموجات."

مبدأ التكاملية "نيلز بور":

على الرغم من قبول علماء الفيزياء لفكرة الازدواجية إلا أن مشكلة فهم الطبيعة الازدواجية للمادة والإشعاع كانت صعبة لأن النموذجين يتعارضان. ولكن "نيلز بور" ساهم فى حل هذه المعضلة باقتراح مبدأ التكاملية الذى ينص على أن نموذجى الموجة والجسيم لكل من الإشعاع والمادة يكملان بعضهما، إذ لايمكن استخدام أحدهما وحيدا لوصف المادة أو الإشعاع ولكن لابد من جمع النموذجين بطريقة تكاملية للفهم الجيد لهذا الموضوع. فالنظرية الموجية

للضوء تعتمد على احتمال وجود فوتون عند نقطة معينة فى زمن معين، كما تقدم النظرية الموجية للمادة احتمال تواجد جسيم من المادة عند نقطة معينة فى زمن معين. وتوصف موجات المادة بدالة موجية مركبة (أى جزء منها حقيقى والآخر تخيلى) ويرمز لها عادة بالرمز (ψ)، ويتناسب مربع مقياسها مع احتمال وجود الجسيم عند نقطة معينة فى زمن معين، وتحتوى هذه الدالة الموجية على المعلومات الخاصة بالجسيم. وقد اقترح العالم "ماكس بورن" (١٨٨٢-١٩٧٠) هذا التفسير لموجات المادة فى عام ١٩٢٨.

ويوجد مجموعة من التجارب التى توضح أن المادة لها طبيعة موجية وطبيعة جسيمية. ولكن العلماء ظلوا فى حيرة من أمرهم عندما يصفون حركة جسيم وكيف يتخيلون الحركة الموجية. وباسترجاع معلوماتهم عن حالات موجات الأوتار وموجات المياه وموجات الصوت حيث يتم تمثيل الموجة بكمية تتغير مع الزمن والموضع، أمكنهم تمثيل موجات المادة بدالة موجية (ψ) تعتمد أيضا على موضع الجسيمات وكذلك على الزمن، ولذا فهى تكتب على الصورة $\psi(x, y, z, t)$. وإذا علمت هذه الدالة لجسيم فإن خصائص الجسيم يمكن تحديدها. ولقد أصبحت المشكلة الرئيسية هى كيفية إيجاد الدالة الموجية لجسيم عند أى زمن إذا علمت الدالة عند لحظة محددة.

وقد سبق أن ذكرنا العلاقة بين زخم الجسيم وطول الموجة المصاحبة كما وضعها "لويس دى بروى". وفى حالة جسيم حر له زخم معلوم فإن دالته الموجية تكون عبارة عن موجة جيبية طولها يساوى ثابت "بلانك" مقسوما على زخم الجسيم، ونظرا لأن الدالة فى هذه الحالة تمثل جسيما واحدا فإن مربع مقياس الدالة هو الكثافة الاحتمالية لوجود الجسيم عند نقطة معينة من الفراغ يساوى احتمال وجود الجسيم. ونظرا لأن الجسيم لابد وأن يتواجد فى مكان ما فإن هذا الاحتمال يجب أن يساوى واحدا (وهى القيمة العظمى للاحتمال). وهذه العلاقة الأخيرة تسمى شرط التسوية للدالة الموجية.

معادلة شرودنجر:

بعد أن استقر الوضع لوصف حركة الإلكترون الموجية طبقا لما توصل إليه "لويس دى بروى"، اتجه تفكير العلماء إلى كيفية الحصول على مواصفات

للموجة المصاحبة للإلكترون إذا تعرض لتأثير مجال خارجى، فاستعان العلماء بالمعادلة الموجية التقليدية وهى معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية فى دالة الموجة التى تعتمد على الإحداثيات المكانية الثلاثة بالإضافة إلى الزمن.

وفى حالة دراسة نظام ذرى محدد بطاقة كلية معينة ثابتة، فإن تردد موجات "دى بروى" المصاحبة لحركة الجسيم تكون ثابتة أيضا، وفى هذه الحالة يمكننا اعتبار الدالة الموجية عبارة عن حاصل ضرب دالتين: الأولى تعتمد على الإحداثيات المكانية فقط والثانية تعتمد على الزمن فقط. وباعتبار أن الطاقة الكلية تمثل حاصل جمع طاقة الحركة للنظام وطاقة الجهد له، طور العالم "اروين شرودنجر" هذه الأفكار وتمكن من الوصول إلى المعادلة الموجية وهى المعادلة التفاضلية المعروفة الآن باسم معادلة "شرودنجر"، وهى تمثل القانون الذى تنبعث وفقا له موجات من مادة ما تقع تحت تأثير مجال خارجى، وقد استطاع "شرودنجر" أيضا بناءا على هذا التصور المقارنة بين المستويات الطاقية الثابتة للأغلفة الذرية والاهتزازات الطولية لنظام كالوتر المهتز مثلا. ومن هذه المقارنة تبين أن طاقات هذه المستويات تتصرف مثل ترددات الاهتزازات الطولية.

وإذا عرفت طاقة الجهد لأى نظام ذرى فإنه من الممكن حل معادلة شرودنجر للتوصل إلى الدالة الموجية المصاحبة للنظام وكذلك قيم الطاقة المسموح بها لهذا النظام. ونظرا لأن طاقة الجهد تتغير مع اختلاف قيم الإحداثيات المكانية، فأحيانا يلزم حل المعادلة على مراحل مكانية بحيث تتصل الدوال الموجية للمناطق المختلفة على الحدود بينها بطريقة طبيعية. وبلغة الرياضيات فإن الدالة الموجية يجب أن تكون دالة مستمرة، كما يجب أن تؤول الدالة الموجية إلى الصفر إذا ما آلت الإحداثيات إلى ما لا نهاية، وأيضا يجب أن تكون الدالة الموجية أحادية القيمة ويكون معامل تفاضلها الأول دالة مستمرة.

وعالم ميكانيكا الكم ببساطة لايمكن مشاهدته، فنحن لا نشاهد الدالة الموجية مباشرة، ولكننا نمارس مشاهدة غير مباشرة من خلال بعض القياسات التى تكون مقاديرها احتمالية.

وأحيانا يكون حل معادلة شرودنجر صعب للغاية وذلك بسبب شكل دالة طاقة الجهد. ولكن بالممارسة تبين أن معادلة شرودنجر تنجح جدا فى تفسير النظم الذرية والنووية، وذلك على عكس الفيزياء التقليدية التى فشلت فى ذلك. وعلى الوجه الآخر فى حالة تطبيق الميكانيكا الموجية على الأجسام الكبيرة فإن نتائجها تتفق مع نتائج الفيزياء التقليدية. وهذا الالتحام بين النظريتين يحدث عندما تكون موجات "دى بروى" قصيرة بالمقارنة بأبعاد النظام. وهذا الموقف يماثل الاتفاق بين الميكانيكا النسبية والميكانيكا التقليدية عندما تكون السرعة أصغر كثيرا من سرعة الضوء.

وهناك العديد من أمثلة النظم الفيزيائية التى يمكن حلها باستخدام معادلة "شرودنجر"، وسوف نعرض بعضا منها بعد تبسيطه رياضيا مثل "الجسيم فى الصندوق" و"الجسيم فى بئر محدود العمق" وعملية "اختراق عائق من خلال نفق". وجميع هذه النظم تمثل فى الأصل مشاكل فيزيائية ولكن تم تبسيطها لكى نتمكن من حل المعادلة التى تمثلها.

الجسيم فى الصندوق:

هى مشكلة تواجد جسيم فى منطقة ذات بعد واحد فى مسافة محدودة ذات طاقة جهد تساوى صفر ويحيط بها من الجهتين منطقة ذات طاقة جهد تصل إلى ما لا نهاية، وتسمى هذه المشكلة "الجسيم فى الصندوق". ومن وجهة نظر الفيزياء التقليدية فإن الجسيم يكون محدد الحركة على محور (x) ذهابا وإيابا بين حائطين لايمكن اختراقهما. فإذا تحددت سرعة الجسيم تحدد زخمة وكذلك طاقة حركته، ولاتضع الفيزياء التقليدية قيودا على قيم الزخم أو الطاقة. أما مدخل الميكانيكا الموجية لهذه المشكلة فيختلف اختلافا جذريا ويستلزم إيجاد الدالة الموجية التى تتمشى مع شروط طاقة الجهد اللانهائية على الحدود.

وقبل أن نتعرض لحل المشكلة من وجهة نظر الميكانيكا الموجية نستعرض الموجات المستقرة على وتر مشدود ومثبت من طرفيه حيث يتواجد عقد عند الطرفين، ويحدث الرنين عندما يكون طول الوتر مساويا أحد مضاعفات نصف طول الموجة. وهذه النتيجة معناها تكميم طول الموجة المستقرة.

والآن دعنا نصف مشكلة الجسيم فى الصندوق من وجهة نظر الميكانيكا الموجية. فبالنظر إلى أن الحائطين لايمكن اختراقهما (بسبب الجهد اللانهائى) فإن الدالة الموجية يجب أن تساوى صفرا عند الطرفين، والدالة التى تحقق هذا الشرط هى الدالة الجيبية، وبنفس الطريقة التقليدية يكون طول المجال هو أحد مضاعفات نصف طول الموجة، وهذا هو التكميم لطول الموجة المستقرة.

ومن المعروف أن حل معادلة "شرودنجر" يهدف إلى إيجاد الدالة الموجية وخلال محاولة التوصل إلى الدالة الموجية تظهر شروط للحل تؤدى إلى الوصول إلى القيم المسموح بها للطاقة. فإذا قمنا بحل هذه المعادلة فى حالة الجسيم فى الصندوق تظهر الشروط المؤدية للقيم المحتملة للطاقة.

وتسمى المستويات المسوح بها للنظام المستويات المستقرة لعدم اعتمادها على الزمن. ومن هذه الحلول يمكننا التوصل إلى الكثافة الاحتمالية عند أى نقطة فى المجال، وهى بطبيعة الحال تساوى صفرا عند الطرفين.

ومن العلاقة بين الزخم وطول الموجة يمكن الحصول على قيم الطاقة (E_n) بدلالة طول المجال (L) وكتلة الجسيم (m) وثابت "بلانك" (h) وكذلك الأعداد الصحيحة (n) وهى:

$$E_n = h^2 n^2 / 8mL^2, n = 1, 2, 3, ...$$

ويظهر من نتائج الطاقة أن الميكانيكا الموجية لاتسمح بأن يكون الجسيم ساكنا. وهذه النتيجة تتعارض مع الفيزياء التقليدية التى تسمح بإمكان انعدام السرعة وطاقة الحركة. أما مستويات الطاقة فى الحل الكمى فإن لها أهمية خاصة، لأنه إذا كان الجسيم مشحونا فيمكنه أن يطلق فوتونا عندما يهبط من مستوى مثل E_2 إلى مستوى أقل منه مثل E_1، وبالعكس يمكنه أن يمتص فوتون له طاقة تساوى الفرق بين المستويين فيرتفع من المستوى الأول إلى الثالث.

الجسيم فى بئر محدود العمق:

إذا اعتبرنا وجود جسيم فى منطقة ذات بعد واحد (x) حيث طاقة الجهد تساوى صفر ومحاطة من الجهتين بطاقة جهد لها قيمة محددة ولتكن (U)، فإذا كانت طاقة الجسيم (E) أقل من (U) فإنه من وجهة نظر الفيزياء التقليدية

يصبح الجسيم مقيدا داخل البئر. أما إذا طبقنا الميكانيكا الموجية فسوف يظهر احتمال تواجد الجسيم خارج البئر، أى أن الدالة الموجية للجسيم (وبالتالى الكثافة الاحتمالية له) لن تتلاشى خارج البئر.

وإذا اتبعنا منهج الحل كما فى المثال السابق نجد أنه بحل معادلة "شرودنجر" داخل البئر نحصل على قيم محتملة للطاقة تختلف عن الصفر كما ظهر فى المثال السابق. أما الدالة الموجية فسوف نجد أنها تأخذ قيم الدالة الجيبية، ونظرا لأن الشروط الحدودية هنا تختلف عن الحالة السابقة (حيث تنعدم فرصة اختراق الجسيم للحائط اللانهائى) فإن الجسيم يمكن أن يتواجد (فرضيا) خارج البئر (المحدود الارتفاع) وعليه يمكن أن تكون الدالة الموجية ذات قيمة محدودة.

وبحل معادلة "شرودنجر" خارج البئر نحصل على دالة موجية على صورة الدالة الأسية ذات أس سالب سواء على يمين البئى أو على يساره لكى تؤول الدالة الموجية إلى الصفر عندما تبعد عن البئر كثيرا. وبتطبيق شروط الدالة الموجية من حيث الاستمرارية عند حدود البئر يمكننا الحصول على دالة متصلة ملساء لتمثيل الجسيم فى المجال.

اختراق عائق من خلال نفق:

هذه ظاهرة فيزيائية من الظواهر التى توضح الفرق بين الفيزياء التقليدية والميكانيكا الموجية، عندما يصطدم جسيم بعائق ذى ارتفاع محدود وكذلك ذى عرض محدود. فلنفترض أن للجسيم طاقة (E) ويصطدم بمجال له طاقة جهد U ويؤثر لمسافة (L) حيث تقل طاقة الجسيم عن طاقة الجهد.

المقابل التقليدى لهذا المثال هو دحرجة كرة أعلى تل، فإذا لم تعط الكرة طاقة كافية فلن تتمكن من الوصول للقمة. لذا فمن وجهة نظر الفيزياء التقليدية يرتد الجسيم لأنه ليس لديه طاقة كافية لاختراق العائق، بينما تتيح الميكانيكا الموجية للجسيم التواجد سواء قبل العائق أو بعده أو بداخله، وذلك لأن سعة موجة الجسيم لاتنعدم فى هذه المناطق.

وبحل معادلة "شرودنجر" فى المناطق الثلاث نحصل على دالة جيبية قبل العائق ودالة جيبية أخرى بعد العائق ودالة أسية ذات أس سالب داخل العائق.

وبتطبيق الشروط الحدودية من اتصال الدوال عند الحدود وتساوى المعامل التفاضلى الأول أيضا عند الحدود يمكننا التوصل إلى حل كامل للمشكلة، ويظهر لنا فى النهاية ما يلى:

١- منطقة قبل العائق تحتوى على دالة جيبية ساقطة عليه ودالة جيبية أخرى مرتدة فى الاتجاه الآخر.

٢- منطقة بعد العائق تحتوى على دالة جيبية نافذة.

٣- منطقة داخل العائق تحتوى على دالة أسية ذات أس سالب.

ونظرا لأن الجسيم الساقط إما أن يرتد أو ينفذ فإن "معامل الارتداد + معامل النفاذ = ١". ويكون معامل النفاذ على الصورة:

$$T = \exp [-4\pi L \{2m (U - E)\}^{1/2} / h]$$

وكمثال على هذا الاختراق نفترض أن إلكترونا ذى طاقة ٣٠ إلكترون فولت يسقط على عائق ارتفاعه (طاقة جهده) ٤٠ إلكترون فولت وعرضه جزء من عشرة من النانو متر، فيكون معامل النفاذ طبقا للصيغة السابقة هو ٣٩ من الألف. أى أن احتمال نفاذ الإلكترون من هذا العائق يساوى حوالى ٤%.

أما فى حالة تطبيق الفيزياء التقليدية فإن احتمال اختراق الإلكترون للعائق هو صفر.

ويوجد تطبيقات عملية متعددة على تأثير النفق، أهمها هو الميكروسكوب النفقى الماسح.

الميكروسكوب النفقى الماسح:

يعتبر تأثير النفق من أهم تطبيقات ميكانيكا الكم، وقد أدى إلى اختراع الميكروسكوب النفقى الماسح الذى يتيح لنا الحصول على صور مفصلة للسطوح وبدقة تصل إلى حجم الذرة. هذه التقنية تتيح للعلماء أن يروا التفاصيل الدقيقة على السطوح حتى أبعاد جزأين من عشرة من النانو متر وبعمق يصل إلى جزء من ألف من النانو متر.

هذه الدقة تختلف تماما عن دقة الميكروسكوب الضوئى والميكروسكوب الإلكترونى. فالميكروسكوب الضوئى لاتصل دقته إلى رؤية دقائق أقل من

٢٠٠ نانو متر وهى حوالى نصف طول الموجة للضوء المرئى. أما الميكروسكوب الإلكترونى فعلى الرغم من أن دقته قد تصل إلى جزئين من عشرة من النانو متر باستخدام موجات الإلكترونات بالطول المذكور، إلا أنها فى حالة اختراقها لعينة مثل الجرافيت لايمكن الحصول على معلومات عن ذرات سطح العينة.

وتعتمد فكرة الميكروسكوب النفقى الماسح على استخدام مسبر على شكل مخروط ذى قيمة غير مدببة ويحرك هذا المسبر بالقرب من سطح العينة. وحيث أن الإلكترون الموجود فى سطح العينة والمنجذب نحو الأيونات الموجبة فى السطح تكون طاقته الكلية أقل من الإلكترون الموجود فى الفراغ بين السطح والمسبر، كما يحدث نفس الشئ لأى إلكترون فى قمة المسبر الذى ينجذب نحو الأيونات الموجبة فيه.

وبتطبيق ميكانيكا نيوتن، فإن الإلكترونات لايمكنها التحرك بين سطح العينة وقمة المسبر لعدم كفاية الطاقة التى تحملها على الهروب من أيهما. ولكن ميكانيكا الكم تسمح للإلكترونات بالخضوع لتأثير النفق وتخترق عائق الفراغ بينهما، وبالسماح بوجود فرق جهد بين سطح العينة وطرف المسبر يمكن للإلكترونات أن تعبر النفق. ومن هذه الخاصية يكون الميكروسكوب حساسا للعمق، والسبب فى ذلك أن الدالة الموجية للإلكترون فى منطقة الفراغ عبارة عن دالة أسية تقل بصفة مستمرة بمعدل يقرب من الثلث خلال هذه المسافة. ويستخدم العلماء حساسية العمق فى هذا الجهاز خلال مرور قمة المسبر فوق سطح العينة فتمكنهم من قياس السمات السطحية للعينة.

ولكن هذا الميكروسكوب له جوانب سلبية وهى اعتماده على الموصلية الكهربية للعينة وللمسبر، ونظرا لأن معظم المواد لاتكون موصلة كهربيا عند السطوح فإن ذلك يحد من استخدام هذا الميكروسكوب.

الأعداد الكمية:

سبق أن ذكرنا عند عرض نموذج "بور" الكمى لذرة الهيدروجين أن الطاقة الكلية للذرة تعتمد على عدد صحيح (n) يأخذ القيم بدءا من الواحد، ويسمى العدد الكمى الأساسى. وقد تم تطبيق هذا النموذج على ذرة الهيدروجين

باعتبارها مكونة من إلكترون يدور حول النواة (بروتون) فى دائرة (نمـــوذج "بور") أو فى قطع ناقص (نموذج "زومرفيلد")، ومعنى هذا أن الحركة تتم فى مستوى واحد.

أما إذا طبقنا معادلة "شرودنجر" على ذرة الهيدروجين فسوف نحصل علـــى حل فى ثلاثة أبعاد، ويؤدى الحل الممكن رياضيا وفيزيائيا إلى ظهور عـــدد كمى آخر (ℓ) يسمى العدد الكمى المدارى ويأخذ القيم بدءا من الصفـــر ثـم الواحد، حتى ينتهى بالعدد (n-1)، كما يظهر عدد كمى ثالث (m_l) يأخذ القيـم بدءا من (l-) حتى القيمة (l) مرورا بالصفر.

كما يوجد عدد كمى رابع يسمى العدد الكمى المغناطيسى المغزلى (m_s) وهـو يعبر عن غزل الإلكترون (أى دورانه حول نفسه)، وهو إما أن يـــدور فـى اتجاه عكس عقرب الساعة ويسمى الغزل العلوى، أو يدور فى اتجاه عقـرب الساعة ويسمى الغزل السفلى. وقد اكتشف هذا العدد عند تحليل طيف بخـــار الصوديوم، فقد وجد أن أحد الخطوط الهامة لطيف الصوديـــوم عبـــارة عـن خطين قريبين من بعضهما جدا (أحدهما بطول ٥٨٩ نانو متر والآخر بطـول ٥٨٩,٦ نانو متر). ولحل هذه المعضلة اقترح عالم الفيزياء "ولفجانج بـــاولى" (١٩٠٠–١٩٥٨) استحداث عدد كمى جديد يسمى العدد الكمى المغزلى. وفـى وجود مجال مغناطيسى خارجى تختلف طاقة الإلكترون فـــى حالـــة الغـزل العلوى عن حالة الغزل السفلى مما يؤدى إلى وجود فرق فى الخط الطيفـــى. وقد اتفق العلماء على قيم هذا العدد الكمى بحيث يكـون ($m_s = 1/2$) للغـزل العلوى، ويكون ($m_s = -1/2$) للغزل السفلى. ولقد أثبت "بول ديراك" (١٩٠٢–١٩٨٤) فيما بعد أن هذا العدد يظهر عندما نعالج حركة الإلكترون النســبية إذ يلزم لها أربعة أعداد كمية لوصف موضع الإلكترون فى فراغ رباعى الأبعاد (مكان وزمان).

قاعدة الاستثناء (وولفجانج باولى):

علمنا أنه لتحديد مستوى ذرة الهيدروجين نحتاج إلى أربعة أعداد كمية (n, ℓ, mi, ms). فعلى سبيل المثال فى حالة إلكترون موجود فى المستوى الأرضـــى لذرة الهيدروجين يمكن أن تكون قيم هذه الأعداد كالآتى:

$(n = 1, \ell = 0 , m_\ell = 0; m_s = 1/2)$ وقد اتخذ هذا النظام لتحديـــد مســتوى أى إلكترون فى أى ذرة. والسؤال الآن هو: كم عدد الإلكترونات المسموح بـــها لأى مجموعة من الأعداد الكمية؟

وقد أجاب على هذا السؤال العالم "ولفجانج باولى" عام ١٩٢٥ بوضعه قــاعدة الاستثناء وهى تنص على ما يلى: "لايمكن لأى إلكترونين التواجد فى نفـــس المستوى الكمى، بمعنى أن كل إلكترون فى ذرة يجب أن يكون له مجموعـــة خاصة من الأعداد الكمية الأربعة ولايشاركه فيها أى إلكترون آخر".

إذا لم تكن هذه القاعدة صحيحة فإن كل إلكترون سوف ينتهى به الأمر فـــى أسفل مستوى طاقة للذرة مما يؤدى إلى تغيير السلوك الكيميـــائى للعنــاصر. وفى واقع الأمر فإننا نعلم الآن أن التركيب الإلكترونى للذرات المركبة يتـــم بامتلاء المستويات واحدا بعد الآخر. وكقاعدة عامـــة فـــإن ترتيـــب امتـــلاء القشرات الفرعية للذرة بالإلكترونات يتم كما يلى:

عند امتلاء القشرة الفرعية فإن الإلكترون التالى يذهب إلى أقل مستوى طاقـــة بالقشرة الفرعية الفارغة التالية للأولى. ويمكن فهم هذه القاعدة بالعلم بأنـــه إذا لم تكن الذرة فى مستوى الطاقة السفلى المتاح فإنها سوف تشع طاقـــة حتـــى تصل إلى هذا المستوى.

وقبل الدخول إلى التركيب الإلكترونى للعناصر المختلفة فإننا نعـــرف مـــدار الإلكترون بمجموعة الأعداد (n, ℓ, m_ℓ). ومن قاعدة الاستثناء فإنه لايتواجد فى أى مـــدار ســـوى إلكترونين، أحدهما لـــه العدد الكمى المغناطيسى المغزلـــى $(m_s = 1/2)$ والآخر $(m_s = -1/2)$.

وتسهيلا لتعريف مواضع الإلكترونات فى القشرات، اتفق على تســـمية كـــل إلكترون بقيمة العدد الكمى الأساسى واستبدل العدد الكمى المــــدارى برمـــز فأصبح $(\ell = 0)$ يسمى (s) والعدد $(\ell = 1)$ يسمى (p) والعـــدد $(\ell = 2)$ يســـمى (d) وهكذا... ويوضع عـــدد الإلكترونات فى القشرة الفرعية على هيئـــة أس لرمز القشرة وبعد ذلك يتم ترتيب العناصر طبقا لـــترتيب امتـــلاء القشـــرات الذريـــة، فعلى سبيل المثال يكون المستوى الأرضى لـــذرة الأرجـــون هـــو $(1s)^2\ (2s)^2\ (2p)^6\ (3s)^2\ (3p)^6$، ومعنى هذه الرموز أن ذرة الأرجون بـــها ١٨

إلكترون منها إثنان فى المدار $(n = 1, \ell = 0, m_l = 0)$ أحدهما غزل علوى والآخر غزل سفلى، وإلكترونان فى المدار $(n = 2, \ell = 0, m_l = 0)$ أحدهما غزل علوى والآخر غزل سفلى ثم ستة إلكترونات فى المدارات $(n = 2, \ell = 1, m_l = 1, 0, -1)$: ثلاثة غزل علوى وثلاثة غزل سفلى، ثم إلكترونان فى المدار $(n = 3, \ell = 0, m_l = 0)$ أحدهما غزل علوى والآخر غزل سفلى وأخيرا ستة إلكترونات فى المدارات $(n = 3, \ell = 1, m_l = 1, 0, -1)$: ثلاثة غزل علوى وثلاثة غزل سفلى.

مبدأ الارتياب (فيرنر هيزنبرج):

إذا أردنا أن نقيس موضع وسرعة جسيم فى أى لحظة، سوف نواجه بعدم دقة فى النتائج المعملية. ومن وجهة نظر الفيزياء التقليدية فإنه لايوجد عائق أساسى لتحسين الجهاز أو طريقة القياس. بمعنى آخر يمكن -من ناحية المبدأ- إجراء القياسات بخطأ اختيارى صغير. ولكن ميكانيكا الكم تتنبأ بأنه من المستحيل إجراء قياسات فى نفس اللحظة لموضع جسيم وسرعته بدقة متناهية.

وقد توصل "فيرنر هيزنبرج" (١٩٠١-١٩٧٦) إلى هذا المبدأ فى عام ١٩٢٧ فأحدث دويا هائلا بين علماء الفيزياء، وفيما بعد تناول قصة توصله إلى مبدأ الارتياب فى كتابه "الجزء والكل" الذى نشره بالألمانية فى عام ١٩٧٣ وظهرت ترجمته بالعربية فى عام ١٩٨٦. وفيما يلى نستعرض جهود "هيزنبرج" فى وضعه ميكانيكا الكم الجديدة، وكذلك كيفية توصله إلى مبدأ الارتياب.

ميكانيكا الكم الجديدة:

يتكلم "هيزنبرج" فى كتابه المذكور عن الحلقات العلمية التى كان يعقدها علماء الفيزياء فى العقد الثالث من القرن العشرين، والتى كانت تدور حول البحث عن نظرية جديدة للكم لكى تحل محل ميكانيكا "نيوتن"، ولكن حدود هذه النظرية لم تكن معروفة فى ذلك الحين. وفى نفس الوقت كلف "نيلز بور" "هيزنبرج" بتطوير نظرية الكم الخاصة بظواهر التشتت مستلهما نظرية التشتت التقليدية. وبعد ذلك حاول "هيزنبرج" استنتاج العلاقات الرياضية

الصحيحة التى تعبر عن شدة خطوط الطيف لغاز الهيدروجين، ولكن هذه المحاولة باءت بالفشل إذ وقع فى أدغال معادلات رياضية معقدة لم يجد منها مخرجا، ولكنه خرج منها بتصور أنه ليس عليه أن يسأل عن مسارات الإلكترونات فى الذرة ولكن عن تردد الاهتزاز وشدة خطوط الطيف التى يمكن حسابها بكميات تسمى السعات لإمكان مشاهدة هذه الكميات مباشرة خلال التجارب العملية.

واقتنع "هيزنبرج" بأن الكميات القابلة للمشاهدة تلعب فى الفيزياء الجديدة نفس الدور الذى لعبته شروط الكم فى نظرية "بور – زومرفيلد". ومن هذه النقطة الهامة فى بناء النظرية الجديدة اتضح له أنه لم تعد هناك حرية فى اشتقاق التركيبات الرياضية اللازمة وأن الأمور أصبحت تسير وفقا للحتمية الجبرية، وتوصل "هيزنبرج" إلى نظرية الكم الجديدة.

وفى نفس هذه الفترة الزمنية تمكن "بول ديراك" فى جامعة كمبردج ببريطانيا من اقتراح طريقة مختلفة لحل نفس المشكلة وتمكن أيضا من بناء نسق رياضى متكامل أدى إلى الأمل فى إمكانية تفسير التجارب المتعددة فى مجال الذرة.

محاورات "هيزنبرج" و"أينشتين":

وفى خريف عام ١٩٢٦ دعى "هيزنبرج" لإلقاء محاضرة فى برلين حول ميكانيكا الكم الجديدة، وبعد إنتهاء المحاضرة دعاه "أينشتين" لمناقشة أفكاره الجديدة التى اعتبرها "أينشتين" غريبة للغاية بسبب محو فكرة مسارات الإلكترونات فى الذرة على الرغم من إمكان مشاهدة مسارات الإلكترونات داخل غرف الضباب، ورد عليه "هيزنبرج" بأن الإنسان لايستطيع أن يرى مسارات الإلكترونات داخل الذرة، ولكن الأشعة التى تنبعث من الذرات أثناء عملية التفريغ تمكننا مباشرة من التأكد من وجود الترددات الاهتزازية وسعاتها، كما أن هذه المعلومات تمثل تعويضا عن المسارات الإلكترونية.

وحاوره "أينشتين" بعدم جدوى نظرية فيزيائية تعتمد فقط على الكميات التى يمكن مشاهدتها، ورد "هيزنبرج" عليه بأنه (أى أينشتين) فى نظريته النسبية لم يتحدث عن أزمنة مطلقة لعدم إمكان مشاهدة هذه الأزمنة. وهنا حاول

"أينشتين" الدفاع عن فلسفته فقال أنه من المهم التذكير بما نستطيع مشاهدته بالفعل ولكنه من الخطأ تأسيس نظرية على الكميات القابلة للمشاهدة، بل على العكس فإن النظرية هى التى تحدد ما يمكن مشاهدته، كما أن المشاهدة فى حد ذاتها تعد عملية معقدة للغاية. فالحدث الذى نريد مشاهدته له تأثيرات معينة على الأجهزة التى نستخدمها فى المشاهدة، وكذلك فإن هناك أحداثا أخرى تقع فى الجهاز وتؤدى بطريقة ملتوية إلى انطباعاتنا الحسية وإلى تثبيت نتائج المشاهدة فى شعورنا، لذا فإنه يتوجب علينا أن نعرف القوانين الطبيعية إذا أردنا أن نزعم أننا قد شاهدنا شيئا ما. وفى رأى "أينشتين" أن زعم "هيزنبرج" الخاص بأخذ الكميات القابلة للمشاهدة فقط فى الاعتبار يحمل تخمينا أن نظريته سوف لاتمس الوصف الحالى لعمليات الإشعاع.

وأكد "هيزنبرج" أن علماء الفيزياء لايعرفون بأى لغة يمكنهم الحديث عما يحدث داخل الذرة. وفى واقع الأمر فإن لديهم نسق رياضى يمكنهم من حساب مستويات الطاقة الثابتة للذرة أو احتمالات الانتقال من مستو إلى آخر، ولكنهم لايعرفون كيف ترتبط هذه "اللغة" مع اللغة الفيزيائية العادية، وهم فى حاجة إلى هذه الرابطة من أجل تطبيق النظرية على التجارب العملية (التى يتحدثون عنها بلغة الفيزياء التقليدية). وبناء عليه فإن "هيزنبرج" يعتقد أن العلماء لم يفهموا ميكانيكا الكم بعد، رغم أن النسق الرياضى صحيح فعلا ولكن علاقته مع "اللغة العادية" لم تتكون بعد.

ثم بدأ "أينشتين" حوارا آخر حول ميكانيكا الكم وأن لها جانبين مختلفين تماما، أحدهما خاص باستقرار الذرات بحيث تدع الأشكال نفسها تتكون من جديد دائما، والجانب الآخر يصف عنصرا غريبا من عدم الاستمرارية فى الطبيعة يمكن رؤيته عند مشاهدة ومضة الضوء المنبعثة من عينة من المواد المشعة فوق الشاشات الضوئية. ونظرا لارتباط هذين الجانبين ببعضهما فمن المحتم الحديث عنهما أثناء تناول ميكانيكا الكم خاصة عند الحديث عن الإرسال الضوئى لذرة ما. فمن الممكن حساب قيم الطاقة المحددة للمستويات المستقرة وبالتالى فإن النظرية تستطيع حساب استقرارية الأشكال التى لاتنتقل باستمرارية ولكنها تختلف بكميات نهائية محددة وتتكون من جديد دائما. فمثلا

فى محاولة تصور هبوط الذرة فجأة من قيمة طاقة ثابتة إلى قيمة أخرى حيث ينبعث الفرق بين القيمتين على هيئة حزمة طاقة أو ما يسمى بالكم الضوئى واعتباره مثلا خاصا لعنصر عدم الاستمرارية.

وأفاد "هيزنبرج" بأنه تعلم من "بور" عدم إمكان الحديث عن مثل هذا الانتقال باستخدام المصطلحات الحالية ولا يمكن وصفه كحدث فى الزمان والمكان، كما أنه لايمكنه وضع إجابة محددة عن وجود الكم الضوئى. ويبدو له أن عملية الإشعاع ترتبط بعنصر من عدم الاستمرارية يتجلى فى ظاهرة التداخل الضوئى الذى يمكن تفسيره بالنظرية الموجية. ومن خلال ميكانيكا الكم يمكن الحصول على معلومات هامة إذا اعتبرت الذرة فى حالة تبادل طاقى مع الذرات الأخرى القريبة منها أو مع المجال الضوئى المحيط بها، ويمكن بعد ذلك البحث عن اهتزاز الطاقة فى الذرة إذا تغيرت بطريقة غير مستمرة حيث يكون أكبر من الاهتزاز بطريقة مستمرة.

وهنا احتج "أينشتين" بأن أفكار "هيزنبرج" تتحرك فى اتجاه خطير جدا، إذ هو يتحدث عما هو معروف عن الطبيعة وليس عما تقوم به الطبيعة بالفعل. وقد يكون من الممكن أن كلا منهما يعرف شيئا مختلفا عن الطبيعة. فإذا كانت نظرية "هيزنبرج" صحيحة بالفعل فيتحتم عليه أن يخبر "أينشتين" عما تفعله الذرة أثناء انتقالها من مستوى ثابت إلى مستوى آخر خلال عملية الإشعاع الضوئى.

العلاقة بين نظريتى "شرودنجر" و"هيزنبرج":

ومن حسن حظ "هيزنبرج" أنه فى فترة محاوراته مع "أينشتين" كان العالم "شرودنجر" يقوم بتطوير معادلته الموجية لوصف حركة الجسيمات وتوصل بطريقة مباشرة إلى طاقات مستويات الأغلفة الذرية تتفق مع نتائج ميكانيكا الكم الجديدة التى وضعها "هيزنبرج". كما نجح "شرودنجر" فى إثبات أن الميكانيكا الموجية التى بناها تنطبق رياضيا مع ميكانيكا الكم الجديدة وبالتالى فإن ثمة تعبيرين رياضيين مختلفين لموضوع واحد.

وقد كان "هيزنبرج" سعيدا بهذه التطورات وازدادت ثقته فى التعبيرات الرياضية التى أدخلها باستخدام المصفوفات والتى حالت تعقيداتها دون إجراء حسابات لبعض النظم الذرية، بينما كانت الميكانيكا الموجية مرتعا سهلا

مطابع الدار الهندسية/القاهرة
تليفون/فاكس : (٢٠٢) ٥٤٠٢٥٩٨

لإجراء تلك الحسابات، وأصبحت الصعوبة هى فى التفسير الفيزيائى للنسق الرياضى الذى أقامه "شرودنجر". فقد اعتقد "شرودنجر" أنه بالانتقال من فكرة الجسيمات البحتة إلى فكرة الموجات المادية أمكنه التغلب على كل المتناقضات التى حالت دون فهم نظرية الكم لأزمنة طويلة. إن الموجات المادية يجب إذن أن تكون عمليات ظاهرية فى المكان والزمان بنفس المنطق الذى تعودنا به إدراك الموجات الكهرومغناطيسية أو الموجات الصوتية فى الفيزياء التقليدية.

وعندما دعى "شرودنجر" لإلقاء محاضرة عن الميكانيكا الموجية فى ميونخ فى صيف عام ١٩٢٦، وذهب "هيزنبرج" إلى هناك لمناقشته، خاصة بعد أن قام بتطبيق معادلة "شرودنجر" على ذرة الهليوم. وكان وقع المحاضرة رائعا وتحمس الجميع لما قاله "شرودنجر" عن استخدام الطرق الرياضية المعروفة بتناسق كامل فى حل مشكلة ذرة الهيدروجين.

وبعد فترة قصيرة التقى علماء الفيزياء فى كوبنهاجن حيث مقر "نيلز بور" لمتابعة المناقشات. وبدأ "شرودنجر" النقاش بعدم موافقته على القفزات الكمية وكذلك على زعم البعض أن الإلكترون الموجود فى ذرة ما يدور فى مسار معين بطريقة دورية دون أن يشع، بيد أن هؤلاء لايعطون أسبابا واضحة لعدم إشعاع الإلكترون وهو ما يتعارض مع نظرية "ماكسويل" التقليدية.

محاورات "نيلز بور" و"هيزنبرج":

وفى الأشهر التالية أصبح التفسير الفيزيائى لميكانيكا الكم يمثل الموضوع الرئيسى للمناقشات بين "بور" و"هيزنبرج"، فقد اهتما بما يسمى التجارب العقلية – وهى تجارب افتراضية معروفة النتائج لايمكن إجراؤها فى المختبر والهدف منها هو اختبار النظريات الفيزيائية المختلفة –لقياس مدى فهمهما لميكانيكا الكم. واتضح لهما اختلاف آرائهما، فقد ركز "بور" على المساواة بين الصورة الجسيمية والصورة الموجية بينما اهتم "هيزنبرج" بدور ميكانيكا الكم فى التفسير الفيزيائى للكميات الفيزيائية مثل "القيم المتوسطة للطاقات" و"العزم الكهربى" و"الدفع" وغيرها، وكيف أنه ليس لديه الحرية فى إعطاء التفسير الفيزيائى، بل يجب عليه استخدام الاستنباط المنطقى البحت.

وانتهت مناقشات العالمان "بـــور" و"هيزنبرج" إلى لا شئ، فتفرق الرفيقـــان، كل ذهب إلى مكان منعزل عن الآخر، بهدف التفكير فى هدوء.

التوصل إلى مبدأ الارتياب:

وفى أحد الأيام تذكر "هيزنبرج" محاوراته مع "أينشتين" حينما قال "إن النظرية هى التى تحدد ما نستطيع مشاهدته بالفعل"، وظل "هيزنبرج" يبحث عن مفتاح البوابة المغلقة فى هذا الموضوع من خلال تفكير عميق فى عواقـــب مقولـــة "أينشتين". ثم استرجع "هيزنبرج" ما كان يقوله دائما من أن مسار الإلكـــترون فى غرفة الضباب يمكن رؤيته، ولكن ربما كان ذلك الذى نراه أقل من ذلـــك، ربما نستطيع فقط إدراك سلسلة محدودة من الأماكن المعينـــة غـــير الدقيقـــة للإلكترون. إن ما نراه فعلا فى غرفة الضباب هو قطرات منفردة من المـــاء التى تكبر الإلكترون آلاف المرات. وتوصل "هيزنـــبرج" إلـــى أن الســـؤال الواجب طرحه هو: هل نستطيع من ميكانيكا الكم تمثيل موقف معين نشـــغل فيه الإلكترون موضعا معينا بطريقة تقريبية -أى ببعض من عدم الدقة- وفى نفس الوقت يملك فيه الإلكترون سرعة معينة بطريقـــة تقريبيـــة أيضـــا -أى ببعض من عدم الدقة- وهل نستطيع تصغير عدم الدقة هذا بحيث لانقع فـــى صعوبات مع التجربة ذاتها؟

لقد قام "هيزنبرج" بعملية حسابية بسيطة لإمكان تمثيل مثـــل هـــذه المواقـــف رياضيا، وأن ثمة علاقة لعدم الدقة فى الموضع والسرعة عرفت بعـــد ذلـــك باسم علاقة الارتياب فى ميكانيكا الكم، ومؤدى هذه العلاقة هـــو أن حـــاصل ضرب الارتياب فى الموضع والارتياب فى الزخم لايمكن أن يكون أقل مـــن كم التأثير للعالم "بلانك"، وبناء على ذلك فقد بدا له أن العلاقة بين المشـــاهدات فى غرفة الضباب والرياضيات الخاصة بميكانيكا الكم قد تكونت أخيرا، ولـــم يعد المطلوب سوى إثبات أنه فى أى تجربة عملية تتكون فقط المواقف التـــى تحقق علاقة الارتياب. ولكن ذلك بدا له منطقيا منذ البداية لأن الأحداث فـــى كل تجربة -أثناء المشاهدة- لابد وأن تحقق بذاتها قوانيـــن ميكانيكـــا الكـــم. وبالتالى فإنه بافتراض هذه القوانين هنا فإنه لن تتكون لدى التجارب مواقـــف

لاتتفق مع ميكانيكا الكم بناء على المبدأ: "**إن النظرية هى التى تحدد ما نستطيع مشاهدته بالفعل**".

وتذكر "هيزنبرج" محاورة أخرى أجراها مع زميل له حينما تناولا الصعوبات المصاحبة لتصور المسارات الإلكترونية فى الذرة، وتخيل زميله احتمال بناء ميكروسكوب ذى قدرة تحليلية كبيرة للغاية بحيث يمكن بـه رؤية مسار الإلكترون مباشرة، وأن مثل هذا الميكروسكوب لايمكن أن يعمل بالضوء العادى ولكن ربما بواسطة أشعة جاما، واتفقا على أنه من ناحية المبدأ، ربما يكون ممكنا باستخدام مثل هذا الجهاز تصوير مسارات الإلكترون فى الذرة فوتوغرافيا.

لقد كان على "هيزنبرج" إثبات أنه حتى فى مثل هذا الميكروسكوب فإنه من غير المسموح به تعدى الحدود المعطاة خلال علاقة الارتياب. ونجح فى الوصول إلى هذا الإثبات وبالتالى فقد زادت ثقته فى صحة التفسير الجديد.

إذا أجريت عملية قياس موضع جسيم بدقة $(\Delta\chi)$ وفى نفس اللحظة قياس مركبة الزخم (p_x) بدقة (Δp_x) فإن حاصل ضرب الارتيابين لايمكن أن يكون أصغر من $(h / 4\pi)$، أى $\Delta\chi.\ \Delta p_x \geq h / 4\pi$.

وبلغة أخرى: من المستحيل قياس الموضع الدقيق والزخم الدقيق لجسيم فى نفس اللحظة. فإذا كانت $(\Delta\chi)$ صغيرة جدا فإن (Δp_x) تصبح كبيرة وبالعكس. ولقد كان "هيزنبرج" دقيقا بحيث أوضح أن الارتيابين $(\Delta\chi)$, (Δp_x) لا ينتجان من عيوب فى أجهزة القياس، ولكنهما ينبثقان من التركيب الكمى للمادة: تأثيرات مثل الارتداد -الذى لايمكن التنبؤ به- للإلكترون عندما يصطدم بفوتون أو تأثير حيود الضوء أو حيود الإلكترونات إذا مرت خلال فتحة صغيرة.

برهان مبدأ الارتياب للموضع والزخم:

ولنفرض أنك ترغب فى قياس موضع وزخم إلكترون بدقة على قدر الإمكان فإنه يمكنك أن تشاهد الإلكترون باستخدام ميكروسكوب ضوئى قوى. ولكى ترى الإلكترون وتحدد موضعه، فيجب أن ينعكس من الإلكترون فوتون واحد

على الأقل ثم يمر خلال الميكروسكوب حتى يصل إلـــى عينيـك، وعندمـا يصطدم الفوتون بالإلكترون فإن الفوتون ينقل جزءا من زخمه إلى الإلكترون، ومن ثم خلال عملية تحديد مكان الإلكترون بدقة شديدة (أى جعل $\Delta\chi$ صغـيرة جدا)، فإن نفس الضوء الذى يسمح بمتابعة التغيرات فى زخم الإلكترون لمدى غير محدد (بجعل Δp_x كبيرة).

وبتحليل عملية التصادم فإن الفوتون يكون له زخم (h/λ) وكنتيجة للتـصادم فإن الفوتون ينقل جزء من زخمه إلى الإلكترون. وعلى ذلك فإن الارتياب فى زخم الإلكترون بعد التصادم يكون فى كبر زخم الفوتون الساقط $(\Delta p_x = h/\lambda)$ وحيث أن الضوء له أيضا خصائص الموجة، فالمتوقع أن نسـتطيع تحديـد موضع الإلكترون بدقة طول موجة من الضوء لرؤياه، وعليه فإن $(\Delta x = \lambda)$.

$\therefore\ \Delta x.\ \Delta p_x = \lambda\ (h/\lambda) = h$ وهذا يمثل أقل قيمة لحاصل ضرب الارتيـابين، وعليه تكون $\Delta x.\ \Delta p_x \geq h$ وهذه العلاقة تختلف عن التى وضعها "هيزنـبرج" بالقيمة العددية $(1/4\pi)$، ولكنها لاتتناقض معها.

إن مبدأ الارتياب يساعدنا على فهم طبيعة "الموجـة–الجسـيم" الازدواجيـة للضوء والمادة.

ولقد رأينا كيف أن وصف الموجة يختلف تماما عن وصف الجسيم، وعلـى ذلك إذا صممت تجربة (مثل التأثير الكهروضوئى) لكشف خصائص الجسـيم (إلكترون) فإن الخاصية الموجية تصبح أقل وضوحا، وإذا صممـت تجربـة أخرى (مثل الحيود الناتج من السقوط على بلورة) لتحديد الخصائص الموجية للإلكترون فإن الخصائص الجسيمية تصبح أقل وضوحا.

برهـان مبـدأ الارتيـاب للطاقة والزمن:

إن العلاقة الارتيابية تضع حدا على الدقة التى يمكن بها قياس طاقـة نظـام (ΔE) إذ يمكن قياسها إذا سمح بفترة زمنية محدودة (Δt) لإجراء القياس. وهذه العلاقة الارتيابية للطاقة والزمن يمكن كتابتها على الصورة

$$\Delta E.\ \Delta t \geq h/4\pi$$

هذه العلاقة تكون مقبولة إذا أجرى قياس لتردد الموجة. ولنفترض أننا نجرى قياسا لموجة كهربية ١٠٠٠ هيرتز، فإذا كان جهاز قياس التردد له حساسية (± ذبذبة واحدة) فإنه يمكننا أن نقيس فى ثانية واحدة تردد (١٠٠٠ ± ١) ذبذبة فى الثانية، بينما نقيس فى ثانيتين تردد (٢٠٠٠ ± ١) ذبذبة فى الثانيتين.

لذلك يكون الارتياب فى التردد (Δf) متناسبا عكسيا مع (Δt) وهو الزمن الذى يتم القياس خلاله. ويمكننا كتابة هذه العلاقة كالآتى:

$$\Delta f.\ \Delta t \cong 1$$

ونظرا لأن جميع النظم الكمية هى من النوع الموجى ويمكن اعتبارها تخضع للعلاقة $E = hf$ فمن هذه العلاقة نحصل على $\Delta f = \Delta E / h$ وبالتالى تصبح العلاقة السابقة: $\Delta E.\ \Delta t \cong h$ وهى تتفق مع العلاقة الارتيابية للطاقة والزمن.

مناقشات مؤتمرات الفيزياء:

ثم التقى "هيزنبرج" مرة أخرى مع "بور"، وكل منهما على استعداد لعرض ما توصل إليه على الآخر، واتفقا على جعل مبدأ الازدواجية بين الصورة الموجية والصورة الجسيمية للإلكترون الأساس الموضوعى للمناقشة. وعرض "بور" مبدأ التكامل الذى يصف موقفا نكون فيه قادرين على إدراك حدث معين بطريقتى وصف مختلفتين. هاتان الطريقتان للوصف تلغى كل منهما الأخرى ومع ذلك فأى منهما تكمل الثانية. وفقط من وجود الطريقتين المتضادتين للوصف كل بجوار الأخرى يصبح الهيكل الظاهرى للظاهرة التكرارية مستنفذا تماما.

أما "بور" فقد أبدى فى أول الأمر بعض التحفظات إزاء علاقة الارتياب التى اعتبرها حالة خاصة جدا للموقف العام لمبدأ التكاملية ولكن باستمرار المناقشة اقتنعا سويا بعدم وجود اختلاف بالمرة بين التفسيرين وأصبح من المهم لكليهما تمثيل الموضوع بحيث يصبح مفهوما للرأى العام الفيزيائى.

وفى خريف عام ١٩٢٧ اجتمع الفيزيائيون فى تجمعين، الأول هو المؤتمر الفيزيائى فى "كومو" الذى ألقى فيه "بور" محاضرة ملخصة عن الموقف

الجديد، أما التجمع الثانى فهو مؤتمر "سولفاى" فى "بروكسل" الذى حضره مجموعة صغيرة من المتخصصين لمناقشة قضايا نظرية الكم بالتفصيل. وقد وقع العبء الأساسى فى الصراع حول تفسير نظرية الكم على "بور" و"أينشتين" الذى لم يكن مستعدا لقبول الصفة الإحصائية لنظرية الكم الجديدة. وبالطبع لم يكن "أينشتين" معترضا على عقد مقولات احتمالية حيثما تكون معرفة كل الأدوات اللازمة لتحديد نظام معين غير ميسرة، فقد استندت على مثل هذه المقولات كل من الميكانيكا الإحصائية وعلم الحرارة، ولكن "أينشتين" لم يرد التسليم بأنه من غير الممكن مبدئيا معرفة كل الجوانب الضرورية للتحديد الكامل لحدث ما وقال: "إن الإله الحبيب لايضرب بالنرد" وظل يردد هذه العبارة كثيرا أثناء المناقشات.

ومن هنا لم يكن ممكنا لـ "أينشتين" التلاؤم مع علاقة الارتياب، وحاول من ناحيته التفكير فى تجارب تؤدى إلى إسقاط هذه العلاقة، وكانت المناقشات تبدأ فى الصباح الباكر بأن يشرح "أينشتين" لمجموعة الفيزيائيين أثناء طعام الإفطار تجربة عقلية جديدة تتناقض حسب رأيه مع علاقة الارتياب، وبالطبع سرعان ما يبدأ "هيزنبرج" بالتحليل وفى الطريق إلى قاعة المؤتمر يكونوا قد توصلوا إلى أول تفنيد لموضوع التجربة المقترحة. وأثناء النهار تدور الأحاديث عن ذلك، وأثناء العشاء يكون قد حان الوقت لأن يثبت "نيلز بور" أن التجربة العقلية التى اقترحها "أينشتين" لايمكن أن تؤدى إلى إسقاط علاقة الارتياب. وبعد هذا التفنيد الكامل يبدو "أينشتين" هادئا تماما، ولكن سرعان ما يأتى الصباح التالى كى يعاود الكلام عن تجربة عقلية جديدة أكثر تعقيدا من سابقتها ثم يصر على أنها تبين فعلا عدم صلاحية علاقة الارتياب، وبالطبع كانت هذه المحاولة تسقط فى المساء مثل سابقتها.

وبعد أن استمرت هذه اللعبة عدة أيام قال صديق "أينشتين" العالم "بول أيرنفست" (١٨٨٠ - ١٩٣٣) موجها كلامه إلى "أينشتين": "إننى أشعر بالخجل لك لأنك تحاول تقديم الحجج ضد نظرية الكم الجديدة تماما كما فعل المناهضون لك ضد النظرية النسبية".

وبالرغم من هذه الملاحظة لم يقتنع "أينشتين". فقد كرس حياته العلمية من أجل البحث فى العالم الموضوعى للظاهرة الطبيعية، التى تتم فى الخارج فى المكان والزمان مستقلة وفقا لقوانين ثابتة. إن الرموز الرياضية للفيزياء النظرية يجب أن تصور هذا العالم الموضوعى، وبذلك يمكنها التنبؤ عن تصرفه فى المستقبل.

لقد كان أنصار نظرية الكم الذرية يزعمون أنه عندما نهبط بأنفسنا عند حدود الذرة، فإن مثل هذا العالم الموضوعى فى المكان والزمان لايصبح موجودا وأن الرموز الرياضية للفيزياء النظرية تصور عندئذ ما هو محتمل فقط وليس ما هو واقع بالفعل. ومن ثم لم يكن "أينشتين" مستعدا -كما تطرق الشعور إليه- بأن تسحب الأرض من تحت قدمية بطريقة بسيطة هكذا.

وحتى بعد ذلك، حينما صارت نظرية الكم جزءا ثابتا من الفيزياء المعاصرة، لم يستطع "أينشتين" أن يغير موقفه. لقد اعتبر نظرية الكم حلا مؤقتا وليس نهائيا لتفسير الظواهر الذرية. ولم يترك "أينشتين" الفرصة لأحد كى يزحزحه عن هذا المبدأ.

النظرية النسبية

فى عام ١٩٠٥ نشر العالم "البرت اينشتين" بحثا فى دورية "أنال فيزيك" الألمانية، وضع فيه أسس نظرية جديدة "النظرية النسبية الخاصة" التى تعتبر مع النظرية النسبية العامة، أعظم الاكتشافات فى القرن العشرين.

ويتلخص هذا البحث فى مبدأين أساسيين:

الأول هو أن جميع قوانين الفيزياء لاتتغير بتغير محاور الإسناد أو بتغير سرعتها، والثانى أن سرعة الضوء فى الفراغ لاتتغير بتغير سرعة المشاهد أو سرعة مصدر الضوء.

وقد كان المعروف أنه طبقا لقانون جاليليو للسرعات فإن سرعة الضوء من مصدر متحرك لاتساوى سرعة الضوء من مصدر ثابت. ولحل هذا التناقض يجب أن نقر بأنه إما أن قانون جاليليو للسرعات غير صحيح أو أن قوانين الكهرمغناطيسية (ومن بينها سرعة الضوء) ليست متماثلة فى المحاور المختلفة.

وفى الحالة الأولى يجب أن نتنازل عن فكرة الزمن المطلق والطول المطلق، وهو ما تعتمد عليه "تحويلات جاليليو".

أما فى الحالة الثانية، فيجب أن نقر بوجود محور إسناد معين تساوى فيه سرعة الضوء القيمة المعروفة.

وقد يكون من المفيد عقد مقارنة بين سرعة الصوت وسرعة الضوء. ففى حالة قياس سرعة الصوت من مصدر متحرك فإن السرعة المقاسة لا تساوى سرعة الصوت من مصدر ثابت.

على أن قوانين ماكسويل للموجات الكهرمغناطيسية تفيد أنه ليس من الضرورى وجود وسط تتحرك فيه الإشارات الضوئية مثل الموجات الصوتية أو الموجات الميكانيكية التى يجب أن تتحرك فى وسط ما.

ولكن الفيزيائيون فى القرن التاسع عشر قرروا التأكد من هذا المبدأ، وفى عام ١٨٨٧ قام العالمان "مايكلسون" و"مورلى" بإجراء تجربة لاستيضاح دور الأثير فى قياس سرعة الضوء. وقامت التجربة على أساس قياس سرعة الضوء مرة فى اتجاه حركة الأثير ومرة ثانية فى عكس اتجاه حركة الأثير، ومرة ثالثة فى اتجاه عمودى على حركة الأثير..

وانتهت التجربة إلى عدم وجود تأثير لحركة الأثير، وبالتالى إلى ثبات سرعة الضوء، وبذلك انتهت فكرة الأثير نهائيا.

واستفاد "أينشتين" من هذه التجربة وقدم المبدأين المذكورين سابقاً.

نعود إلى مبادئ نيوتن فى الميكانيكا ومن أهمها أن الزمن مطلق بصرف النظر عن مكان قياسه. أما "أينشتين" فيقول أن قياس الفترة الزمنية يعتمد على محور الإسناد الذى يقاس فيه. فإن كان متحركا فلن يكون زمنه مساو للزمن المقاس فى محور إسناد ثابت.

وعلى ذلك أصبح أى حدث فيزيائى يشار إليه بالأبعاد الثلاثة فى الفراغ بالإضافة إلى الزمن (الذى أصبح البعد الرابع).

ويقال أن "أينشتين" فى شبابه كان يسكن فى منزل، وكانت مديرة المنزل لاتمتلك ساعة، فكانت تطرق باب غرفته للسؤال عن الوقت. فإدرك "أينشتين" أن الزمن له أهمية كبيرة فى الحياة.

لذلك عندما صاغ النظرية النسبية فى معادلات اعتبر أن الكون له أربعة أبعاد (ثلاثة فراغية والبعد الرابع هو الزمن).

وأضاف "أينشتين" أنه إذا وجد محورى إسناد، أحدهما ثابت والآخر متحرك وفى كلاهما مشاهد، فإن حدثين متزامنين فى أحدهما لن يكونا متزامنين فى الآخر. أى أن أحد المشاهدين يرى الحدثين فى نفس الزمن، والآخر يراهما فى زمنين مختلفين.

وقد ذكر "أينشتين" أن النظرية النسبية كان ظهورها ضرورياً، لأنها كشفت عن تناقضات خطيرة وعميقة فى النظرية القديمة. إن قوة هذه النظرية تظهر فى البساطة والتوافق الذى حل جميع الصعوبات.

وتوصل "أينشتين" إلى علاقات تربط الأطوال والكتل والزمن بالسرعة، مثل أن الكتلة المتحرك تساوى الكتلة الساكنة مضروبة فى سرعة الضوء ومقسومة على الجذر التربيعى للفرق بين مربعى سرعة الضوء وسرعة الكتلة المتحركة.

كما توصل "أينشتين" إلى أن أطوال الأجسام المتحركة تظهر منكمشة فى اتجاه الحركة. وصاغ هذه العلاقات فى معادلات. ويقول أن الطول الحقيقى لأى جسم هو الطول الذى يقاس فى محور إسناد غير متحرك.

ومن أمثلة انكماش الطويل: سفينة الفضاء التى يبلغ طولها مئة متر وهى ساكنة بالنسبة لمشاهد، إذا تحركت مع المشاهد بسرعة ٩٩% من سرعة الضوء، فإن طولها يصبح ١٤ مترا.

ولكى نفهم انكماش الطول، نتخيل سفر سفينة فضاء من كوكب إلى آخر مع وجود مشاهد داخل السفينة ومشاهد آخر على الأرض. بالنسبة لمشاهد الأرض فإنه سوف يقيس المسافة الفعلية بين الكوكبين، بينما المشاهد داخل سفينة الفضاء سوف يقيس زمن أقصر من الزمن الفعلى، وعليه فسوف يكون حسابه للمسافة بين الكوكبين أقل.

كما أشار "أينشتين" إلى تمدد الزمن.

وتمدد الزمن هو ظاهرة حقيقية تم التحقق منها فى عدة تجارب. فعلى سبيل المثال فإن جسيم الميون وهو جسيم أولى غير مستقر له شحنة الإلكترون وكتلته تساوى أكثر من ٢٠٠ ضعف كتلة الإلكترون. وتنتج الميونات من الأشعة الكونية فى طبقات الجو العليا، وعمرها حوالى ٢ ميكرو ثانية. وإذا افترضنا أن هذه الجسيمات تتحرك بسرعة تقرب من سرعة الضوء، فسوف نجد أنها تتحرك ٦٠٠ متر فقط قبل أن تتحول إلى جسيم آخر. وهذا يعنى أنها لن تصل إلى سطح الأرض. ولكن التجارب أثبتت أن تلك الجسيمات تصل

إلى الأرض. وظاهرة تمدد الزمن توضح هذا التناقض، إذ باستخدام معادلات "أينشتين" نجد أن تلك الجسيمات تتحرك ٤٨٠٠ متر، وهذه المسافة كافية للوصول إلى الأرض.

وفى عام ١٩٧٦ تم إجراء تجارب على جسيمات الميون فى مختبر الاتحاد الأوروبى للبحوث النووية "سيرن" فى جنيف. وظهر أن عمر الميون المتحرك أطول من عمر الميون الساكن ٣٠ مرة، بما يتفق مع النظرية النسبية.

وقد استعان "أينشتين" بتحويلات العالم "لورنتز" للتوصل إلى تلك العلاقات.

واستنتج قانون تكافؤ الكتلة والطاقة ووضع العلاقة بينهما كما يلى: الطاقة تساوى مقدار الكتلة مضروبا فى مربع سرعة الضوء. وهذا يعنى أن الطاقة والكتلة وجهان لعملة واحدة. وقد ثبتت صحة هذا القانون بعد الانفجار الذرى الذى حدث فى اليابان عام ١٩٤٥.

وعندما سئل "أينشتين" هل وضعت هذه العلاقة استنادا إلى اختبار معملى؟ أجاب: إن الفيزياء هى نظام منطقى للتفكير، ولن يمكننا تفهم أسسها إذا نحن اكتفينا بالاختبار والتجربة، بل إن تقدمها مرهون بالاختراع الحر.

وبالنسبة للعلاقة بين الشغل والطاقة فى النظرية النسبية، فإنه من المعروف أن الشغل المبذول بواسطة قوة مؤثرة على جسيم تساوى التغير فى طاقة حركة الجسيم، وإذا كانت طاقة الحركة الابتدائية تساوى صفرا، فإن الشغل المبذول يكافئ طاقة الحركة النسبية التى تساوى الفرق بين قيمتين، الأولى هى طاقة حركة الجسيم الساكن التى تساوى الكتلة الساكنة مضروبة فى مربع سرعة الضوء، والقيمة الثانية هى طاقة حركة الجسيم المتحرك التى تساوى الكتلة المتحركة (وهى الكتلة الساكنة مضروبة فى سرعة الضوء ومقسومة على الجذر التربيعى للفرق بين مربعى سرعة الضوء وسرعة الكتلة المتحركة) مضروبة فى مربع سرعة الضوء.

قبل التعرض لتصادمات الجسيمات فى النظرية النسبية، يجب أن نشير إلى قانون ثبوت الزخم فى الميكانيكا الكلاسيكية، فهو من القوانين الأساسية التى تبنى عليها الميكانيكا التقليدية.

وبالنسبة لتصادمات الجسيمات فى النظرية النسبية، فإن الزخم النسبى يجب أن يكون ثابتا فى جميع التصادمات ولكنه يقترب من قيمة الزخم الكلاسيكى (غير النسبى) عندما تصل سرعة الجسيم إلى الصفر.

وعرض "أينشتين" مشكلة "وهم تناقض التوأم":

فأفترض وجود شقيقين يبلغان من العمر ٢١ عاما وسماهما "سبيدو" و"جوسلو"، ويحملان ساعتين متطابقتين. وفى لحظة ما سافر سبيدو إلى كوكب آخر -يبعد عشر سنوات ضوئية عن الأرض- راكبا سفينة فضاء تسير بسرعة تساوى نصف سرعة الضوء. وبعد وصول سبيدو إلى الكوكب، شعر بحنين للعودة إلى الوطن فقرر العودة إلى الأرض بسفينة الفضاء بنفس السرعة، فوجد شقيقه جوسلو قد كبر ٤٠ عاما وأصبح عمره ٦١ عاما، بينما كبر سبيدو ٣٤,٦ عاما فقط وأصبح عمره أقل من ٥٦ عاما.

وفى عام ١٩١٥ توصل "أينشتين" إلى النظرية النسبية العامة.

ولكى نوضح هذه النظرية يجب أن نذكر أن الكتلة طبقا للعالم "اسحق نيوتن" لها خاصيتان: الأولى هى الجذب التثاقلى طبقا لقانون الجذب العام، والثانية هى القصور الذى يقاوم التسارع (العجلة).

ووضع "أينشتين" مبدأين للنظرية النسبية العامة:

الأول أن جميع قوانين الكون لها نفس الصياغة لأى مشاهد فى أى محور إسناد سواء كان معجّلا أو غير معجّل.

والثانى باسم "مبدأ التكافؤ" وينص على أن المجال التثاقلى يكافئ أى محور إسناد معجّل فى غياب التأثيرات التثاقلية.

ويؤدى المبدأ الثانى إلى تساوى الكتلة التثاقلية والكتلة القصورية.

ومن بين نتائج النظرية النسبية العامة أن مقياس الزمن يتغير بالجاذبية. فالساعة فى مجال الجاذبية تتحرك أبطأ من حركتها فى حالة انعدام الجاذبية. وبالتالى فإن تردد الإشعاع الناتج من الذرات فى حالة وجود مجال تثاقلى قوى يتحرك نحو اللون الأحمر.

مطابع الدار الهندسية/القاهرة
تليفون/فاكس : (٢٠٢) ٥٤٠٢٥٩٨

وقد ثبت هذا من كشف خطوط الطيف المشعّة من النجوم كبيرة الكتلة.

كما أن أشعة الضوء المنبعث من النجوم ينكسر عند مروره بالشمس. وفي عام ١٩١٩ عندما حدث خسوف للشمس تمكنت البعثة البريطانية التى سافرت إلى جنوب أفريقيا من تسجيل هذا الحدث وإثبات صحة نظرية "أينشتين".

اسحق نيوتن والقوة الخامسة

منذ ما يزيد على ثلاثمائة عام، وفى أحد أيام الصيف كان "اسحق نيوتن" جالسا فى حديقة فى مدينة كمبردج الإنجليزية عندما رأى تفاحة تسقط من إحدى أشجار التفاح متجهة نحو الأرض.

جلس "نيوتن" يفكر، ثم أخذ السؤال التالى يلح عليه: لماذا تسقط التفاحة إلى الأرض؟ وعندما توصل إلى إجابة عن هذا السؤال وغيره من الأسئلة، كتب كتابه الشهير "برنكيبا" فى جزءين، الأول بعنوان "حركة الأجسام" والثانى بعنوان "نظام العالم". وكتبهما باللغة اللاتينية التى كانت لغة العلم فى ذلك الوقت. وقد ترجم هذا الكتاب بعد ذلك إلى الإنجليزية.

ولعل أهم ما يحتويه هذا الكتاب هو قانون الجذب العام، وهو القانون الذى فسر سقوط التفاحة، كما فسر عددا من الظواهر الطبيعية التى لم يكن لها تفسير فى ذلك الوقت مثل حركة الكواكب. فعلى الرغم من قيام العالم "كبلر" بصياغة قوانينه الوضعية لحركة الكواكب قبل "نيوتن" بمائة عام، والتى بناها على مشاهداته ورصده لحركة عدد من الكواكب، فإن "نيوتن" بوضعه قانون الجذب العام قد وضع الأسس الرياضية لقوانين "كبلر".

وقد أدى عمق فكر "نيوتن" فى هذا القانون وفى غيره إلى اعتباره ثانى أعظم الرجال فى التاريخ سابقا جميع العلماء فى مختلف العصور.

وينص قانون الجذب العام على أنّ كل جسم فى هذا الكون يجذب أى جسم آخر بقوة تتناسب طرديا مع الكتلتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما.

فإذا وضعنا كتلتين كل منهما كيلو جرام واحـد على بعد متر واحد بينـهما، فإنّ قوة الجذب بينهما تقل عن قوة جذب الأرض لأى منـهما (وهـى وزن الكيلو جرام) بحوالى مئة ألف مليون مرة.

من هذا يتضح لنا أنّ تأثير قـوة الجذب لا يظهر فى حركـة الأجسـام ذات الكتل المحدودة، وإنما يظهر فى حركة الأجسـام ذات الكتـل الهائلـة مثـل الكواكب.

لكن هل بدأ "نيوتن" من فراغ؟

أم أنه بنى جهدَه على جهودِ علماءَ سبقوه؟

سوف نلقى الضوء على بعض هذه الجهود:

١) كان فلاسفة الإغريق قبل أكثر من ألفين من السنين على اعتقاد راسخ بأن الجسم الأثقل وزنا يسقط أسرع من الجسم الأخف وزناً. وهذه المقولة تـم دحضها على يد العالم "جاليليو" الذى توفى فى نفس عام ميلاد "نيوتن".

٢) كما كان للعلماء العرب دور كبير فى هذا المضمار، فمنذ ما يقرب مـن ألف عام قام الفلكى المصرى "ابن يونس" بقياس الزمن باستخدام بنـدول، وذلك قبل سبعة قرون من ظهور قانون نيوتن للجذب العـام. وقـد قـام "نيوتن" بإعادة تجارب "ابن يونس". ومن جهة أخـرى فقـد اسـتخدمت قياسات "ابن يونس" الفلكية للدلالة على التغير الحـادث فـى الاختـلاف المركزى لمدار الأرض.

٣) ومعنى ذلك أن "ابن يونس" قد سبق كلا من "نيوتن" و"كبلر" فيما وصـلا إليه. ويقول المؤرخ "ديفيد سميث" فى كتابه (تاريخ الرياضيات) أن "ابـن يونس" و"البتانى" هما أكثر الفلكيين العرب شهرة. كما يقول إن الفاطميين حاولوا إنشاء مدرسة علمية فى القاهرة تضـارع مدرسـة الإسـكندرية القديمة، وقد كان "ابن يونس" أحد أعمدة مدرسة القاهرة الفاطمية العلميـة والتى انتهت على يد صلاح الدين عام ١١٧١م.

٤) وقبل "نيوتن" قام "جاليليو جاليليه" بإجراء واحدة مـن أشـهر التجـارب الفيزيائية فى تاريخ العلم. فقد قام بإسقاط مجموعة من الأجسام المصنوعة

من مواد مختلفة كالخشب والرصاص من أعلى برج بيزا الشهير، وذلك بهدف حساب معدل السقوط، وانتهى "جاليليو" إلى أن جميع الأجسام تسقط بنفس العجلة.

وفى منتصف القرن التاسع عشر اهتم العلماء الإنجليز بموضوع عجلة الجاذبية فقاموا بإجراء تجارب لاختبار ثبوتها فى مناطق مختلفة من جبال هيمالايا بالهند أثناء فترة الاحتلال، وقام بالمحاولة الأولى "جون هنرى برات" عام ١٨٥٤، وقام بالثانية "ر. أ. جيمس" عام ١٨٥٦.

ولعل أشهر هذه الاختبارات ما قام به العالم المجرى "ايتفوس" فى نهاية القرن التاسع عشر. فقد استخدم "ايتفوس" جهاز "كافندش" الذى يحتوى على أجسام من مواد مختلفة، وقام بتسجيل بيانات عديدة لعجلة الجاذبية وعلاقتها بنوع المادة المصنوع منها الجسم المعلق فى الجهاز. وانتهى إلى تأييد نتائج "جاليليو".

ظل العلماء يجرون التجارب المختلفة سواء داخل المختبرات أو خارجها بهدف تحديد قيمة ثابت التناسب فى قانون الجذب العام، وكذلك لتحديد قيمة عجلة الجاذبية الأرضية حتى توصلوا إلى القيمتين.

اقتنع العلماء بأن قانون الجذب العام لنيوتن قد أصبح قانونا ثابتا واقلعوا عن التفكير فى بديل له، إلى أن جاء العالم "أينشتين" ووضع نظريته النسبية الخاصة عام ١٩٠٥ ثم النسبية العامة عام ١٩١٥. وقد أدت النظرية النسبية إلى إعادة النظر فى نظرية الجذب العام لنيوتن.

يقول الفيلسوف البريطانى "برتراند راسل" فى كتابه "الف باء النسبية" ما يلي:

عندما تكلم نيوتن عن المسافة بين كتلتين كان يقصد المسافة فى زمن محدد. وظن أن ذلك لن يؤدى إلى لبس حول زمن قياس المسافة. ولكن يبدو لنا الآن أن هذا كان خطأ لأن ما يظنه أحد المشاهدين نفس اللحظة على الشمس والأرض سوف يراه مشاهد آخر لحظتين مختلفتين. لذلك فمن الأصوب أن تكون جملة نيوتن فى قانونه المشهور هى "المسافة بين كتلتين عند لحظة معينة". وإذا انتقلنا إلى مفهوم المسافة ذاتها، فإنّ هذه المسافة بين الكتلتين قد

تختلف باختلاف المشاهد. وعلى ذلك فإننا لانستطيع أن نقـــول أنّ صياغــة نيوتن لقانون الجذب العام صحيحة، إذ أنها تؤدى إلى نتائج مختلفة تبعاً لتحديد المشاهد وطريقة قياس الزمن.

وظل الحال على ما هو عليه حتى فوجئ علماء الفيزياء فى عام ١٩٧١ ببحث منشور فى مجلة Nature البريطانية لعالم فيزيائى يابانى اســمه "ياســونورى فوجاى" يقترح فيه نموذجا جديداً لقانون الجذب العام. والقانون المقترح يسمح بوجود قوة تنافر بين الأجسام بالإضافة إلى قوة الجذب المعروفة. وأن هــــذه القوة الجديدة تتواجد إذا تراوحت المسافة بين الجسمين بيـــن عشــرة أمتــار وكيلومتر. وقد بنى اقتراحه هذا على وجود جسيم يسمى "ديلاتـــون" يمكـن ربطه بجسيم "الجرافيتون" المسبب لقوة الجذب. واقترح "فوجاى" تعديلا لقانون نيوتن يسمح بإضافة قوة التنافر هذه.

وعلى غير ما توقع علماء الفيزياء ظل هذا الاقتراح مجمدا ولم يلق الاهتمــام من علماء الغرب حتى عام ١٩٨٥ حيـــن قـــامت مجموعــة مـــن العلمــاء الأمريكيين بقيادة "افرايم فيشباخ" بدراسة هذا الموضوع متجاهلين دور العــالم اليابانى، وأعطوا لبحثهم عنوان "إعادة تحليل تجربة ايتفوس"، وانتهوا إلـــى أن نتائج تجربة ايتفوس تؤيد وجود قوة التنافر الجديدة فى المدى المتوسط (الــذى أشار إليه فوجاى). ثم اقترحت هذه المجموعة أنه فى هذه الحال تصبح القوى الموجودة فى الكون خمس قوى بدلا من أربع.

ومن هذا التاريخ أطلق "فيشباخ" اصطلاح "القوة الخامسة" آملا فى حصولــــه على جائزة نوبل فى حالة تحقيقه.

ومن المعلوم أن القوى فى الكون أربع، وهى القوى النووية وهى المســـئولة عن ترابط الأنوية وهى قوى جاذبة وهى أقـــوى أنـــواع القـــوى. والقـــوى الكهرومغناطيسية وهى قوى جذب أو تنافر تنشأ بين الشـــحنات الكهربائيـــة. والقوى النووية الضعيفة وهى المســـئولة عـــن انحــلال الأنويـــة وانطـــلاق الجسيمات الخفيفة مثل الإلكترونات أو البوزيترونات. وقوى التثاقل وهى قوى قانون الجذب العام بين الأجسام المادية. وفى سبعينيات القرن العشـــرين تـــم توحيد القوى الكهرومغناطيسية والقوى النووية الضعيفة تحت اســـم "القـــوى

الكهروضعيفة" على يد العالم الباكستانى "عبد السلام" وحصل علـــى جـــائزة نوبل.

وبعد عام ١٩٨٥ بدأت موجة عارمة من الأبحاث للتوصل إلى تأييد أو رفض فكرة القوة الخامسة، وكانت غالبيتها أبحاث تجريبية.

فقامت مجموعة من جامعة كوينز لاند بأستراليا فى عام ١٩٨٦ بقياس عجلـــة الجاذبية وثابت الجذب العام داخل المناجم العميقة بهدف التحقق مـــن قـــانون الجذب الجديد لفوجاى وتوصلت إلى قرائن إيجابية تؤدى إلى تحديد قيم هـــذه القوة الجديدة والمدى الذى تؤثر فيه.

وقامت مجموعة أخرى من جامعة واشنطن سياتل عام ١٩٨٧ باستخدام بندول اللى الذى يحتوى على كتلتين متساويتين إحداهما مصنوعـــة مـــن النحـــاس والأخرى من البيريليوم، وقد وضع البندول داخل جهاز واق من المجـــالات الكهرومغناطيسية ومفرغ من الهواء بالقرب من جبل. وبالقياس الدقيق لزوايـا الانحراف أمكن تحديد ثوابت المجال الجديد.

وقامت مجموعة ثالثة من جامعة كولورادو عام ١٩٨٧ بإعادة تجربة جـــاليليو على جسمين مصنوعين من النحاس واليورانيوم ولم يتوصلوا إلى مـــا يؤيـــد وجود القوة الخامسة.

وقامت مجموعة رابعة تابعة لسلاح الجو الأمريكى عام ١٩٨٨ بإجراء تجربة لقياس عجلة الجاذبية أعلى برج، وقارنت النتائج بمثيلتها على ســـطح الأرض وتوصلت منها إلى اتفاق مع اقتراح فوجاى.

وفى عام ١٩٨٨ عقد مؤتمر فى المختبر القومى فى لوس ألاموس فـــى نيـــو مكسيكو بأمريكا لدراسة نتائج البحوث الغزيرة التى تمت على مدار عامين فى هذا الموضوع، وكانت أهمها التجربة التى تمت تحت سطح جليد جرينلانـــــد بميل واحد حيث أنزل جهاز شديد الحساسية لقياس الجاذبية من خلال ثقب مع ملاحظة التغير الحادث فى شدة الجاذبية مع البعد عن ســـطح الأرض. إذ أن قانون نيوتن يقول إن الجاذبية تقل مع نزول الجـــهاز لنقـــص كميـــة المـــادة الجاذبة، إلا أن التجربة أظهرت أن شدة الجاذبية تقل بسرعة أكثر من المتوقع

مما يؤيد وجود مجال آخر غير مجال الجاذبية المعروف. وخلص المؤتمر إلى الميل بتأييد وجود القوة الخامسة أو على الأقل الإقرار بتعديل قانون نيوتن ليسمح بوجود قوة التنافر.

وفى يناير ١٩٨٩ عقد المؤتمر السنوى للجمعية الفيزيائية الأمريكية وكان من بين البحوث المنشورة بمجلة المؤتمر ملخصا لإقتراح لى باستخدام الهرم الأكبر لحسم هذه المشكلة، حيث أن الهرم الاكبر يتميز بأنه أضخم بناء هندسى محدد الهيكل ويختلف عن الجبال التى استخدمت سابقا بأنه محدد الكتلة أيضا.

فقد تحددت كثافة أحجار الهرم من خلال مشروع استخدام الأجهزة الفيزيائية الحديثة فى الآثار المصرية، وهو أحد ثلاثة مشروعات قام بها قسم الفيزياء بكلية العلوم جامعة عين شمس فى الفترة من ١٩٦٦ حتى ١٩٧٧. وأحد نتائج المشروع الثالث (الذى تشرفت بأن أكون باحثه الرئيسى) هو تحديد كثافة أحجار الهرم من خلال حركة الموجات الصوتية خلاله.

وتضمن اقتراحى المنشور فى مجلة الجمعية الفيزيائية الأمريكية عام ١٩٨٩ قياس الجاذبية الأرضية بجوار الهرم على ارتفاعات مختلفة، وكذلك إنحراف الخط العمودى وتجربة بندول اللى. وهذه التجارب فى حالة إجرائها بدقة عالية تكون كفيلة بتحديد كنه المجال الموجود، وهل هو يتبع قانون نيوتن أو يحيد عنه؟

وفى عام ١٩٩٢ نشر فيشباخ مقالا بعنوان "ست سنوات للقوة الخامسة" حصر فيها كل البحوث وتوصل إلى أن السؤال مازال قائما وهو هل توجد قوة خامسة؟

وجدير بالذكر أنه على الرغم من أن العالم اليابانى "فوجاى" هو صاحب اقتراح تعديل قانون نيوتن إلا أن جميع الأبحاث التى ظهرت منذ عام ١٩٨٥ كانت تشير إلى فيشباخ على أنه صاحب اقتراح القوة الخامسة (فيما عدا البحث الذى نشرته فى مجلة المؤتمر السنوى للجمعية الفيزيائية الأمريكية).

جاليليو ومركز الكون

ولد "جاليليو جاليليه" فى مدينة "بيزا" (الشهيرة ببرجها المائل) فى ١٥ فبراير ١٥٦٤؛ وتلقى تعليمه فى جامعتها وعين مدرسا للرياضيات بتلك الجامعة عام ١٥٨٩؛ ثم انتقل إلى جامعة "بادوا" فى عام ١٥٩٢. وتابع نشاطه العلمى حتى دعى لإلقاء محاضرة فى المجمع اليسوعى فى روما عن إنجازاته العلمية فى الميكانيكا والضوء والفلك؛ ونجح نجاحا رائعا؛ وأدى ذلك إلى اختياره عضوا فى أكاديمية الحكماء.

ولكن فى عام ١٦١٤ بدأت محكمة التفتيش فى تناول آراء "جاليليو" المناصرة لتعاليم "كوبرنيقوس" المبنية على أن الشمس هى مركز الكون وأن الأرض تدور حولها؛ وقد حاول "جاليليو" تبرئة نفسه عن طريق إبراز عدم تنافر التعاليم الكوبرنيقية مع الكنيسة.

ومن أجل ذلك شرع "جاليليو" فى كتابة الكتاب الشهير بعنوان "حوار حول النظامين الرئيسيين للكون: النظام البطليموسى والنظام الكوبرنيقى" الذى يعتبر من روائع التراث العلمى العالمى؛ وهو عبارة عن عمل فنى أدبى وكتاب علمى فلسفى يعبر عن النزاع بين الأفكار العلمية عن طريق حوار بناء بين الآراء العلمية المتضاربة أو المؤيدة؛ بالإضافة إلى أنه يلقى الضوء على تاريخ فترة من أعظم فترات التقدم العلمى؛ والصراع بين رجال الدين؛ أو بين ثلاثية العلم والدين والفلسفة.

ولكى يتحاشى "جاليليو" أن يعبر بنفسه عن رأيه الشخصى فى هذه الأمور الخطيرة جعل موضوع الكتاب عبارة عن وقائع مؤتمر علمى يحضره ثلاثة من العلماء يناقشون فيه أمور العلم الذى يهتمون به ويقارعون بعضهم البعض بالحجج والبراهين من خلاصة فكرهم وحصيلة خبراتهم.

وبدأ الحوار بقضية تفنيد البراهين الأرسطوطاليسية والبراهين الأخرى حول الطبيعة المختلفة للأجسام السماوية وللأرض وحول الحجج التى تؤكد القرابة بينهما؛ وفيه يدافع "جاليليو" عن "أرسطو" ولكنه يعارض بشدة من يؤلهه؛ ثم يعقد "جاليليو" مقارنة بين الأرض والقمر ويحدد التشابهات والاختلافات بينهما؛ وينتهى إلى أن "الرأى الذى يعتبر الأرض من نفس نوع الأجسام السماوية يعد أكثر احتمالا من الرأى المضاد".

ثم يناقش "جاليليو" أثناء الحوار التوافق بين ظواهر الحركة اليومية فوق الأرض مع دورانها المحورى مع نقد تفصيلى لعلم الحركة الأرسطوطاليسى، بالإضافة إلى مناقشة بعض الموضوعات مثل سقوط حجر من قمة شراع سفينة متحركة وحركة القذائف، ثم مناقشة فكرة التسليم بدوران الأرض ثم تفنيد رأى "أرسطو" فى زعمه أن الأجسام الثقيلة تتحرك أثناء سقوطها وفقا لأثقالها.

وبعد ذلك تناول "جاليليو" فى كتابه "الحوار" حركة الأرض حول الشمس ثم ظاهرة المد والجزر وأبعاد النجوم وقضية لانهائية الكون وتداعى براهين "أرسطو" عن ذلك، ثم مسارات الكواكب؛ ويحدد "جاليليو" الهدف الرئيسى لعلم الفلك بأنه تقديم تفسير للظواهر الفلكية، وقد أشار فى هذا الصدد إلى الفلكيين العرب أمثال "الفرجانى" و"البتانى" و"ثابت". وتظهر فلسفة "جاليليو" وإيمانه الحقيقى فى قوله أن "الله قد سمح لنا بالبحث فى بناء الفضاء الكونى كله إلا أنه قد أخفى عنا إلى الأبد النفاذ الفعلى إلى عمل يديه، ربما حتى لاتضمر وتموت وظيفة العقل البشرى كله".

وفى عام ١٦٣٠ وقبل تقديم كتابه للنشر سافر "جاليليو" إلى روما واستقبله البابا "أوربان الثامن" بحفاوة بالغة، ثم تقدم "جاليليو" بعدها بكتاب الحوار للموافقة عليه فأبدى الأب "رافائيلو" رأيه بإجراء بعض التعديلات وموافقته بعد ذلك على النص. أما البابا فلم يوافق على الكتاب بسبب إسناد ظاهرة المد والجزر إلى حركة الأرض (والتى كان له فيها رأى معارض).

وأثناء قيام "جاليليو" بإعداد التعديلات ظهر مرض الطاعون وقيدت حركة الانتقال بين المدن فقام "جاليليو" بنشر الكتاب فى فلورنسا بعد أخذ موافقة

كنيستها عليه، وفى فبراير ١٦٣٢ انتهت طباعة الكتاب وأرسل "جاليليو" نسخا منه هدايا للأصدقاء.

وفى أغسطس ١٦٣٢ وبناء على توصية من البابا أصدر أمر للناشر بمنع بيع كتاب "الحوار"، كما طالب المجلس المشكل بالانعقاد الفورى لمحكمة التفتيش لمحاسبة "جاليليو" بسبب نشره هذا الكتاب.

وفى يناير ١٦٣٣ رحل "جاليليو" وهو فى التاسعة والستين من عمره إلى روما للتحقيق معه فى أربع جلسات.

وفى يونيو ١٦٣٣ صدر الحكم من مجلس مكون من عشرة مطارنة (وقع منهم سبعة فقط) وبلغ منطوق الحكم أكثر من ثلاث صفحات. وبعد ذلك قرأ "جاليليو" وهو راكع قسم يتضمن ما يلى:

"أنا جاليليو جاليليه، البالغ من العمر سبعين عاما، والراكع أمام سموكم أصحاب المقام الرفيع السادة مطارنة محكمة التفتيش وأمام عينى توجد الأناجيل المكرمة التى ألمسها بيدى،

أقسم أننى سوف أكف تماما عن الرأى الخاطئ القائل بأن الشمس هى مركز الكون وهى ليست متحركة وأن الارض ليست المركز وهى متحركة. وليس من المسموح لى اعتبار هذه التعاليم الخاطئة بأنها حق أو الدفاع عنها أو تدريسها بأى طريقة سواء شفهيا أو تحريريا، بعد أن كشفتم لى أن هذه التعاليم تتناقض مع الكتاب المقدس.

لذلك فإننى أعلن أنى تبت، وألعن وأسب بقلب مخلص وبعقيدة صافية الضلالات والزندقة المذكورة وعلى الإطلاق كل وأى ضلالات أخرى تتناقض مع الكنيسة المقدسة المذكورة.

أنا المدعو جاليليو جاليليه تبت وأقسمت ووعدت وألزمت نفسى كما هو مذكور أمامى، وللتصديق فقد قطعت هذه الشهادة التى قرأتها كلمة كلمة على نفسى ووقعتها بيدى.

روما فى دير المينيرفا فى ٢٢ يونيو ١٦٣٣.

وفى ديسمبر ١٦٣٧ فقد "جاليليو" بصره، ثم سمح له بالانتقال إلى منزله فى فلورنسا وفى ٨ يناير ١٦٤٢ مات وهو فى الثامنة والسبعين. وفى عام ١٧٣٧ تم نقل رفاته من رواق جانبى صغير بكنيسة سانتا كروس بفلورنسا إلى الجناح الأيسر من بهو الكنيسة حيث أقيم له تمثال عظيم. ولقد تم تحريم كتاب "الحوار" ما يقرب من ٢٠٠ سنة، حتى رفع الحظر عنه فى ٢٥ سبتمبر ١٨٢٢.

وقد علق العلامة "أينشتاين" على هذا الكتاب بقوله: إن السلطات كانت قد أمرت "جاليليو" قبل صياغته لهذا الكتاب بعدم إعلان انضمامه إلى تعاليم "كوبرنيقوس" (والتى تتلخص فى أن الشمس هى مركز المجموعة وأن الكواكب بما فيها الأرض تدور حولها) ولكن كتاب "الحوار" يمثل محاولة ماكرة لتنفيذ هذا الأمر مع عدم التغاضى عن عرض الحقائق الأساسية. ثم قال أيضا: إننى أرى أن المحرك الأول لكتاب "جاليليو" يتجلى فى نضاله الحاسم الملئ بالمعاناة ضد كل المعتقدات التى بنيت على الأساطير. لقد اتخذ "جاليليو" فى هذا النضال الخبرة العملية والتفكير الدقيق كمقياسين قاطعين للحقيقة.

وبذلك تكون معركة "جاليليو" العلمية قد استمرت أكثر من ربع قرن، ولم تكن مع أقرانه من العلماء بقدر ما كانت مع بعض رجال الكنيسة. ولكن ذكاء "جاليليو" أدى به إلى الالتفاف حول مواقف الاختلاف وذلك بوضعه كتابا علميا بصورة قصصية تتضمن آراء علمية متضادة منسوبة إلى شخصيات علمية وهمية. ولما لم تنطلى هذه الحيلة على رجال الدين اضطر إلى الإنسحاب من المواجهة باعترافه بالخطأ قسرا، ولكن التاريخ أنصف هذا العالم العظيم كما أن الكنيسة قد ردت له اعتباره كاملا بعد قرنين من وفاته.

المراجــع

1- Quantum Mechanics, by L.I.schiff, Third Edition, 1968, McGraw Hill.

2- Physics for Scientists and Engineers (with Modern Physics), by R.A. Serway, fourth Edition, 1996, Saunders College Publishing.

٣-الجزء والكل (محاورات فى مضمار الفيزياء الذريـــة)، تــأليف فـيرنر هيزنبرج، ترجمة محمد أسعد عبد الرؤوف، تقديم على حلمـــى موســـى، ١٩٨٦، الهيئة المصرية العامة للكتاب.

رقم الإيداع : ٢٢٠٨٨/٢٠٠٤
ISBN : 977-281-267-3